

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE
SISTEMAS Y AUTOMÁTICA



AUTOMATIZACIÓN DE UN
PROCESO DE ANODIZADO

LEGANÉS, SEPTIEMBRE 2009

I.T.I. ELECTRÓNICA

AUTOR: MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ TORRES

TUTOR: JUAN CARLOS HERNÁNDEZ MARTÍN

Agradecimientos

Hasta que no terminas el proyecto y te detienes a escribir los agradecimientos, no eres realmente consciente de que seguramente estás ante una de las partes más importantes del documento, ya que al echar la mirada atrás, te das cuenta de que sin ninguna de estas personas nunca habría sido posible llegar a este punto en el que ahora me encuentro.

Me gustaría, en primer lugar, dar las gracias a mis padres. Sin su apoyo y paciencia no habría podido permanecer todo este tiempo estudiando lo que me gusta. Nunca he dejado de valorarlo.

Igualmente, tengo que agradecer a mis hermanas y a mi cuñado la comprensión y la cercanía que siempre me han aportado. Siempre habéis confiado en mí y esa confianza ha sido vital en muchos momentos de esta carrera.

No me puedo olvidar, ni mucho menos, de mi novia. Nunca he creído que el hecho de centrarme en los estudios fuera una casualidad. Como tampoco lo es, lo mucho que ha influido en mi idea de retomar la carrera que nunca debí haber dejado. Sabes que cuando escribo dos paréntesis al revés, lo hago con mucho sentido.

Mi tutor, Juan Carlos Hernández, merece una mención muy destacada en este proyecto y mi especial agradecimiento por su gran ayuda, disposición y compromiso durante estos meses. Gracias a ello, he podido cumplir unos objetivos que a principio de año parecían inalcanzables.

Y por último, y no por ello menos importantes, tengo que nombrar a mis amigos de la universidad, de Asturias y de “La Galería”. No es necesario que de nombres de ninguno, porque vosotros sabéis perfectamente a quien va dirigido este agradecimiento y lo importante que es para mí vuestra amistad. Es muchas ocasiones y por motivos diversos, habéis sido esenciales.

Sin todas estas personas y quizá algunas más, las cuáles espero me disculpen por olvidarme de ellas, estoy seguro de que no habría sido capaz de alcanzar esta meta. A todos, por tanto, muchas gracias.



Índice

| | |
|---|---------------|
| 0. Introducción | pág.6 |
| 1. Los autómatas programables en la historia | pág.7 |
| 1.1. Contexto histórico | |
| 1.2. Evolución de la producción | |
| 1.3. El autómata programable | |
| 1.3.1. Función | |
| 1.3.2. Lógica cableada | |
| 1.3.3. Lógica programada | |
| 1.3.4. Componente del autómata programable | |
| 1.3.4.1. Fuente de alimentación | |
| 1.3.4.2. C.P.U. | |
| 1.3.4.3. Módulo de entradas | |
| 1.3.4.4. Módulo de salidas | |
| 1.3.4.5. Terminal de programación | |
| 1.3.4.6. Periféricos | |
| 1.4. Lenguajes de programación | |
| 2. Proceso de anodizado | pág.32 |
| 2.1. Contexto histórico | |
| 2.2. Concepto de anodizado | |
| 2.3. Beneficios del anodizado | |
| 2.4. Comportamiento medioambiental | |
| 2.5. Definiciones y métodos de anodizado | |
| 2.6. Principio del anodizado | |
| 2.6.1. Proceso de oxidación-disolución | |
| 2.6.2. Formación de capa porosa | |



2.7. Fases en el proceso de anodizado

2.7.1. Anodizado de protección

2.7.2. Anodizado duro

3. Proyecto de Control de un proceso de anodizado pág.46

3.1. Plantas de anodizado

3.2. Disposición de los tanques

3.3. Funcionamiento del programa

3.4. Elementos de automatización

3.4.1. Detectores de posición inductivos

3.4.2. Pulsadores

3.4.3. Pulsador de emergencia

3.4.4. Interruptor a cerradura

4. Anexo lógica cableada, conceptos pág.57

4.1. Estados ON y OFF

4.2. Relés

4.2.1. Relé de corriente alterna

4.2.2. Relé de láminas

4.2.3. Relé de estado sólido

4.3. Ventajas del uso de relés

4.4. Contactos NA y NC

4.5. Funciones lógicas

4.6. Relé automantenido

4.7. Funciones de temporización

4.8. Mando manual y automático

4.9. Comando secuencial

5. Anexo GRAFCET pág.65

5.1. Historia

5.2. Introducción



5.3. Elementos básicos de un GRAFCET

5.3.1. Etapas

5.3.2. Transiciones

5.3.3. Reglas de evolución

6. Anexo mejora con SCADA

pág.70

6.1. Proceso compuesto de producción

6.2. Sistemas SCADA

6.2.1. Prestaciones

6.2.2. Requisitos

6.2.3. Módulos de un SCADA

6.3. Conceptos asociados a sistemas SCADA

6.3.1. Tiempo real

6.3.2. Hardware en sistemas de supervisión: PLC y PC

7. Anexo hojas de características

pág.75

8. Anexo software

pág.94

9. Anexo planos

pág.147

10. Bibliografía y recursos de información

pág.153



0. Introducción

El mundo de la industria, es un sector que ha evolucionado con el paso de los años tan rápido como le ha permitido la mejora y aparición de nuevas tecnologías. Los objetivos no han cambiado, se sigue buscando obtener el mayor beneficio con el mínimo gasto. Lo que sí ha cambiado es la manera de lograr este objetivo principal.

Actualmente, realizar una inversión en nuevos sistemas y nuevos métodos de control de la producción puede reportar un beneficio mucho mayor, no solo en lo económico, sino también en otros aspectos como pueden ser la seguridad de los trabajadores o la calidad de la producción.

En este punto es donde toma especial relevancia la incorporación de los autómatas programables a la industria. Reducir los tiempos de producción, tener un mayor y mejor control sobre el sistema o requerir de un menor número de personal cualificado, son cualidades que, aportadas por el empleo de un autómata programable, seducen mucho al sector industrial.

En este proyecto se busca la automatización de uno de los procesos de mayor relevancia dentro de la industria del aluminio, el proceso de anodizado.

Como se podrá ver posteriormente, el aluminio es un material que ofrece unas características muy particulares y muy beneficiosas para muchos sectores de nuestra vida cotidiana. La gran demanda de este material, incita a que todos los tratamientos que se le practiquen y mejoren sus cualidades, como es el caso del anodizado, sean bien recibidos en el mercado y tomados en cuenta para futuras aplicaciones.

El objetivo de este proyecto es el de utilizar el autómata programable como un complemento de la producción, que permita obtener el mejor rendimiento del proceso de anodizado. Obtener el mayor rendimiento no solo consiste en producir más rápido, sino también en hacerlo con mayor calidad o necesitar menos personal para ello, como se ha comentado anteriormente, y en estos términos es donde la inclusión de un sistema de control puede proporcionar grandes beneficios.

Por tanto, lo que aquí se viene a proponer, no es más que una de las múltiples inversiones que podría realizar un empresario en su industria con el fin de, a medio o largo plazo, observar una importante evolución tanto en lo cualitativo como en lo cuantitativo.

1. Los autómatas programables en la industria

1.1. Contexto histórico

En un principio, todas las automatizaciones industriales, se realizaban mediante sistemas con lógica cableada.

La aparición de los ordenadores a mediados de los 50's inauguró el campo de la lógica programada para el control de procesos industriales. Por lógica programable se entiende a los mecanismos con capacidad de realizar las principales funciones lógicas necesarias para la conducción de una máquina o un proceso, de acuerdo a un determinado programa memorizado y con un grado de flexibilidad extremadamente elevado.

No obstante, a pesar de que estos ordenadores resolvían los inconvenientes de la llamada lógica cableada, presentaban nuevos problemas:

- Mala adaptación al entorno industrial.
- Coste elevado de los equipos.
- Necesidad de personal informático para la realización de los programas.
- Necesidad de personal especializado para el mantenimiento.

Los autómatas programables aparecieron en Estados Unidos en el año 1969, y más particularmente en el sector de la industria del automóvil. Fueron empleados en Europa alrededor de dos años más tarde. Cabe destacar, que los primeros procesadores de autómatas fueron contruidos con la ayuda de circuitos integrados disponibles en aquella época.



Fig. 1.1 Modicon 084, primer autómata programable



Es importante hacer notar que los autómatas fueron al principio, y son todavía, máquinas concebidas por los ingenieros de control para los ingenieros de control, independientemente de la construcción de ordenadores. Su perfecta adecuación a las necesidades industriales fue uno de los avances más remarcables.

Esta adecuación concierne no solamente a los aspectos relacionados con el software sino también al hardware. Los autómatas se adaptan perfectamente al entorno industrial: entradas y salidas conformes a los estándares de señales industriales, protección ante los parásitos electromagnéticos, robustez ante choques y vibraciones, resistencia a la corrosión, dispositivos de seguridad en caso de avería o de caída de tensión, etc.

Antes de la aparición de los microprocesadores (1971), la mayor parte de las aplicaciones digitales en electrónica se basaban en la llamada lógica cableada, es decir, si existía un problema este era analizado y se sintetizaba una función en base a la lógica de boole que solucionaba el problema planteado.

Hasta este momento, el trabajo de análisis, diseño y creación de un autómata a base de puertas lógicas, decodificadores, biestables, etc.... era un proceso sumamente arduo que derivaba en un circuito final limitado exclusivamente al uso para el que se había proyectado. Por un lado eran instalaciones sólidas, pero cualquier modificación en ellas y en su funcionamiento era realmente complicada.

Es por esto que el microprocesador propició un gran avance en cuanto a la versatilidad y la maniobrabilidad de los autómatas. Ahora era posible transmitir las mismas instrucciones a través de un programa, y no con lógica cableada, que se podía escribir y modificar cuantas veces hiciera falta sin que ninguna de estas tareas fuera especialmente complicada. De esta manera aparecieron nuevas cualidades:

- Aumento considerable de la velocidad de respuesta conforme se aumenta la velocidad de procesamiento.
- Reducción de las dimensiones del armario de control.
- Mayor fiabilidad de funcionamiento.
- Gran capacidad de almacenamiento de datos.
- Lenguajes de programación más potentes: contactos, bloques funcionales, GRAFCET (Gráfica de Control de Etapa de Transición).
- Realización de operaciones aritméticas.
- Posibilidad de utilizar redes de comunicaciones.
- Incremento de la capacidad de memoria.
- Mejoras en los lenguajes de programación.
- Posibilidad de entradas y salidas analógicas.

En décadas posteriores, la evolución de los autómatas programables se centra en la mejora de las prestaciones, como por ejemplo, aumentar la velocidad de respuesta, reducir las dimensiones, mayor concentración de entradas/salidas en los módulos respectivos, etc.



Todas estas consideraciones y constantes avances, explican la fulminante acogida de los autómatas programables en la industria y el extraordinario vigor de un mercado que, desde hace años, registra una progresión anual del 20% al 30%.

A principios de los años 80 existían en el mercado alrededor de 130 modelos de autómatas propuestos por una veintena de fabricantes, mientras que actualmente el número de estos se encuentra alrededor de la treintena. El usuario, ante la elección de un autómata, generalmente privilegia más y más la solidez de un fabricante y la calidad de su servicio post-venta.

Por tanto, los microprocesadores han sido utilizados, desde su aparición, para la concepción de los procesadores de los autómatas. Los fabricantes han podido desarrollar familias homogéneas de autómatas capaces de resolver de manera eficaz y rentable toda una gama de problemas de control, desde los más simples a los más complicados, dependiendo del número de entradas y salidas.

Es importante destacar, como el mundo de los autómatas programables no ha tardado mucho en aprovecharse de las ventajas de las nuevas posibilidades que oferta la llegada del PC (Personal Computer).

Por una parte, los PC, mediante redes de comunicación, permiten realizar sistemas de supervisión de autómatas programables muy sofisticados (pantallas color con animaciones, históricos, etc.) con precios totalmente asequibles. De hecho, algunos fabricantes de autómatas han desarrollado su propio software de supervisión. Otros han decidido adherir software abierto concebido para varias marcas de autómatas.

Por otro lado, los PC y su buena capacidad de tratamiento son más y más utilizados, actualmente como soporte de programación, reemplazando las antiguas consolas especializadas.

En cuanto a su lugar de trabajo, ante la demanda de los usuarios, los autómatas programables han salido rápidamente de su campo de aplicación inicial puramente secuencial para integrar tratamientos aritméticos, regulaciones PID, control de ejes, manipulaciones de cadenas de caracteres y otras muchas operaciones, aprovechando en mayor medida todo su potencial.

Los primeros autómatas, con sus potentes procesadores, eran máquinas relativamente caras ya que se encargaban de controlar grandes sectores de la instalación. Sin embargo, actualmente la amplia gama de autómatas ha abierto el camino al control descentralizado, utilizando el autómata adecuado en cada área de la instalación conectados a través de redes comunicación.

Se gana con ello fiabilidad intrínseca ya que, por ejemplo, la avería de un autómata sólo tendría consecuencias limitadas. Igualmente la velocidad también se ve afectada, pudiendo existir tratamientos paralelos, y el cableado, al existir la posibilidad de situar cada autómata cerca de la parte del proceso que controla.



1.2. Evolución de la producción

Desde el punto de vista de la gestión de la automatización, las empresas industriales se clasifican, de forma general, en dos grandes categorías: las empresas de procesos continuos y discretos.

En las primeras, la producción se describe en términos de gasto de materia. Es el caso típico de las fábricas físico-químicas y petroquímicas. Los procesos de producción están generalmente caracterizados por una secuencia de reacciones físico-químicas que se desarrollan de manera continua o casi continua. Está claro que, en este tipo de empresas, la producción está estrictamente fija, desde el punto de vista de la naturaleza de los productos, así como desde el punto de vista de los útiles de producción.

Las empresas pertenecientes a la segunda categoría, calificadas de discretas, fabrican “objetos” que se pueden numerar y que pueden ser evidentemente de una complejidad muy diversa. Las industrias mecánicas, eléctricas y electrónicas son claros ejemplos de esta categoría. Los procesos de producción se pueden definir como una sucesión de operaciones de puesta en conjunto y ensamblaje realizados manualmente, o mediante la ayuda de máquinas.

El presente trabajo se centra principalmente en esta segunda categoría de empresas. Sin embargo, es importante entender que las nociones que serán presentadas son igualmente aplicables a las empresas pertenecientes a la primera categoría.

La evolución del mercado explica los principales problemas a los que se enfrentan las empresas destinadas a la fabricación de productos, sobre todo aquellas dirigidas al gran público. Hasta hace un tiempo, el mercado se caracterizaba por el hecho de que el productor era el que jugaba un papel importante, habiendo poca competencia y pocos productos. El consumidor no era difícil de satisfacer y compraba aquello que estaba disponible.

Para este tipo de género de producción Taylor desarrolló una filosofía particular: especialización de equipos y especialización del personal a quién se le demanda únicamente trabajos elementales y repetitivos.

Actualmente, el mercado se caracteriza principalmente por el hecho de que el cliente se ha convertido en el factor determinante. La competencia ha aumentado considerablemente en el mundo, haciendo que el consumidor sea más difícil de satisfacer y más crítico, sobre todo a nivel de la calidad de los productos. El ciclo de vida de los productos, se ha reducido igualmente: como puede ser, por ejemplo, de tres a cuatro años en un automóvil y quizás algo menos para un ordenador. En términos de producción esto significa una gran variedad de productos para un ciclo de vida muy corto en pequeñas series.



El 30 % de la actividad industrial global está representado por la producción de fabricación, donde un 40% concierne a la producción por lote y sólo un 15% a la producción en masa. Del 40 % de la producción por lote, el 75% concierne a lotes de menos de 50 piezas. Para sobrevivir, las empresas deben, por tanto, llegar a producir a gran velocidad de manera eficiente, siendo capaces de adaptarse rápidamente a la evolución de los productos.

Son estos hechos los que provocan un cambio en la industria, una nueva manera de pensar y planificar el trabajo que desemboca en una nueva filosofía de organización de la fabricación. Las nuevas reglas de producción, pueden ser resumidas en una sola serie de cinco ceros:

- cero defectos
- cero averías
- cero stock
- cero retrasos
- cero inventarios

El significado de los primeros cuatro ceros es claro. El quinto cero indica la voluntad de suprimir el inventario, en el que interviene de forma frecuente el trabajo del personal y es la causa de numerosos errores. Idealmente, se deberían de añadir dos ceros más: cero accidentes y cero problemas sociales.

De forma más técnica, estas nuevas reglas de producción se recogen dentro de una filosofía llamada *Just in Time (JIT)*. Se trata de un principio de organización industrial, que surgió a principios de los años 80, por el que se fabrican solamente las unidades necesarias de un producto en el momento preciso y al menor coste posible, con el fin de satisfacer puntualmente las necesidades del cliente.

El primer resultado es evidentemente una reducción drástica de los stocks, y por tanto, una sensible disminución de gastos financieros de la empresa. No se trata sin embargo del objetivo principal buscado. En realidad, la reducción de los stocks es sólo el principio de una reacción en cadena que conduce a trastornos de funcionamiento de la empresa, ya que obliga a una mayor implicación de la misma para llevar a cabo los mismos objetivos con inventarios más reducidos.

En efecto, para producir sin stock garantizando que el número de retrasos en la distribución se encuentra dentro unos valores aceptables, es necesario disponer de tiempos de fabricación muy cortos, una gran flexibilidad para poder seguir la demanda, tanto en variedad como en cantidad, y una alta fiabilidad en la producción con el fin de evitar riesgos por la aparición de defectos.

El proceso de fabricación, a nivel de la organización de la producción, implica lo descrito en los siguientes puntos:

- La división de la fábrica en células que permitan el encadenamiento rápido de las operaciones implicadas en la fabricación de una misma pieza o un mismo producto, evitando así los stocks intermedios.
- La limitación de los desplazamientos, acelerando de esta forma el trabajo y facilitando el seguimiento de la producción.



- La flexibilidad de las células en cuestión, facilitando el cambio rápido de las herramientas y de los programas de fabricación.
- El control y gestión de la calidad de cada etapa de la fabricación con el fin de no perjudicar los procesos.
- La fiabilidad de las máquinas, lo que supone poner en práctica una política rigurosa de mantenimiento preventivo.
- La polivalencia y el aumento de la cualificación de los operarios que son responsables de la cantidad y de la calidad de piezas y de productos fabricados, al igual que del buen funcionamiento de las máquinas.
- Las relaciones entre los proveedores con el fin que participen de igual forma en el proceso de producción, ya que afectan a nivel de retrasos y de la calidad de los productos proporcionados.

Cabe destacar que, hasta ahora, no se ha nombrado el papel de la automatización, ya que la filosofía Just in Time concierne a todo lo relacionado con la organización de la producción.

La automatización permitirá acelerar la fabricación y garantizar la consistencia de la calidad. Por las razones expuestas anteriormente, la automatización deberá de ser flexible. Esta flexibilidad debe de traducirse a nivel estructural de las máquinas, las cuales serán polivalentes y se podrán adaptar a los procesos, en la medida de lo posible, gracias a una gestión de útiles y una provisión de materiales, completamente automatizadas.

Esta flexibilidad debe también de encontrarse a nivel del sistema de control de las máquinas, cuyos modos de funcionamiento deberán permitir ser fácilmente modificados. Este último punto ya no supone un problema real en la actualidad ya que, en la práctica actual, todas las nuevas máquinas de producción son controladas por dispositivos a base de microprocesadores con un programa almacenado. Más aún, los puertos de comunicación existentes casi siempre permiten cargar y modificar los programas a partir de otros ordenadores.

Los autómatas programables además de encargarse de la automatización tienen como uno de sus objetivos suministrar la información necesaria para la gestión e información de los procesos de producción. Esta información concierne no solamente a la fabricación propiamente dicha sino al diseño de productos, la gestión técnica, financiera y administrativa, la organización, el marketing, etc.

Las nuevas reglas de producción, en concreto la de cero papel, también conducen a concebir la idea de la integración de medios informáticos en una empresa. El término integración abarca no sólo la interconexión física de los ordenadores por las redes de comunicación sino también, la interconexión lógica.

Se entiende que el sistema informático distribuido inicialmente aparece al usuario como un sistema informático centralizado y homogéneo siendo el principal objetivo la disponibilidad de información. Es decir, la integración ofrece el acceso directo a la información requerida, en el momento y en el contexto requerido.

1.3. El autómatas programable

1.3.1. Función

Las entradas del autómatas, son señales que provienen del proceso, es decir, de la parte operativa, mediante sensores (fin de carrera, detectores de presencia, etc.). Las salidas del autómatas salen del sistema por medio de actuadores, bien sean hidráulicos, neumáticos o eléctricos.

El papel de un autómatas es el de actuar ante los cambios de estado y de sus entradas modificando el estado de sus salidas según una programación determinada a priori por el diseñador del sistema. Esta programación, es *combinatoria* si en cada instante, el estado de las salidas pueden ser directamente deducidas del estado de las entradas. Será de tipo *secuencial*, si hiciese falta tener en cuenta la evolución durante los instantes anteriores del sistema. La evolución puede ser completamente descrita por el estado de un número finito de variables lógicas memorizadas en el seno del autómatas, aunque existe la posibilidad de intervención de un operador humano.

1.3.2. Lógica cableada

La lógica cableada industrial es la técnica de diseño de controladores utilizada en plantas industriales, básicamente a través del empleo de contactos de relés cableados. La lógica cableada utiliza compuertas lógicas discretas (TTL, CMOS, HCMOS), para implementar circuitos digitales de comunicaciones y computadores.

Este tipo de lógica consiste en el diseño de automatismos con circuitos cableados entre contactos auxiliares de relés electromecánicos, contactores de potencia, relés temporizados, relés de protección, válvulas óleo-hidráulicas o neumáticas y otros componentes.

Los cableados incluyen funciones de comando y control, de señalización, de protección y de potencia, donde esta última, además de circuitos eléctricos comprende a los circuitos neumáticos (mando por aire a presión) u óleo hidráulicos (mando por aceite a presión).

Empleando lógica cableada, se crean automatismos rígidos, capaces de realizar una serie de tareas en forma secuencial, sin posibilidad de cambiar variables y parámetros. Si se ha de realizar otra tarea será necesario realizar un nuevo diseño.



Se emplea en automatismos pequeños, o en lugares críticos, donde la seguridad de personas y maquinas, no puede depender de la falla de un programa de computación.

En la actualidad, todos los sistemas emplean el autómatas programable, a lo que se le podría añadir la RTU (Unidad Terminal Remota), computadoras o servidores de uso industrial.

Estos autómatas no se programan en lenguajes tradicionales como cualquier computador, emplean el Ladder, lenguaje en el cual las instrucciones no son otra cosa que líneas de lógica cableada. Así el conocimiento de la lógica cableada es de fundamental importancia para quien programa un autómatas programable o PLC.

Las desventajas que presenta la lógica cableada son, entre otras, las siguientes:

- El volumen de material de los dispositivos de control es directamente proporcional a la complejidad de la función realizada.
- La función está físicamente inscrita en el cableado y será difícil modificarla.
- Resulta complicado, ante un mal funcionamiento, realizar un seguimiento de la lógica de control para su posterior corrección.

Por el contrario, la lógica cableada presenta a su vez una serie de ventajas en relación a la lógica programada:

- La velocidad de tratamiento no depende de la complejidad del problema debido a que todos los elementos lógicos trabajan en paralelo. Para los relés, esta velocidad puede ser muy elevada.
- Los relés electromagnéticos permiten atacar las etapas de potencia sin cambiar la tecnología, debido al aislamiento que poseen entre los terminales de entrada y de salida y a la posibilidad de soportar sobrecargas en estos dos circuitos.

En el capítulo “Anexo lógica cableada, conceptos” se amplía este apartado, describiendo los elementos, circuitos básicos y la filosofía comúnmente empleada en la lógica cableada.

1.3.3. Lógica programada

La idea de la lógica programada es utilizar sólo un juego de instrucciones básicas que normalmente están complementadas con instrucciones avanzadas. Para realizar una función lógica dada, se empleará este juego de instrucciones para calcular sucesivamente los diferentes términos de la función y combinarlos de manera que se llegue, poco a poco, al resultado deseado.

El autómata programable ejecutara de forma periódica este programa. Está claro que si el barrido es repetido con suficiente rapidez en relación a la dinámica de señales se tendrá la impresión de un funcionamiento similar al de la lógica cableada.

En la práctica, se trata de tener repeticiones de la ejecución del programa del mismo orden de magnitud que el tiempo de basculación de relés en la lógica cableada.

La manera en la que el barrido en cuestión debe de ser efectuado por una secuencia de instrucciones registradas en una memoria, constituye lo que se denomina programa.

1.3.4. Componentes del autómata programable

La estructura básica de cualquier autómata es la siguiente:

- Fuente de alimentación
- CPU
- Módulo de entrada
- Módulo de salida
- Terminal de programación
- Periféricos.

Respecto a su disposición externa, los autómatas programables pueden contener varias de estas secciones acopladas en un mismo módulo o cada una de ellas ubicadas en módulos independientes. Es por esto que se pueden distinguir entre autómatas compactos y modulares.

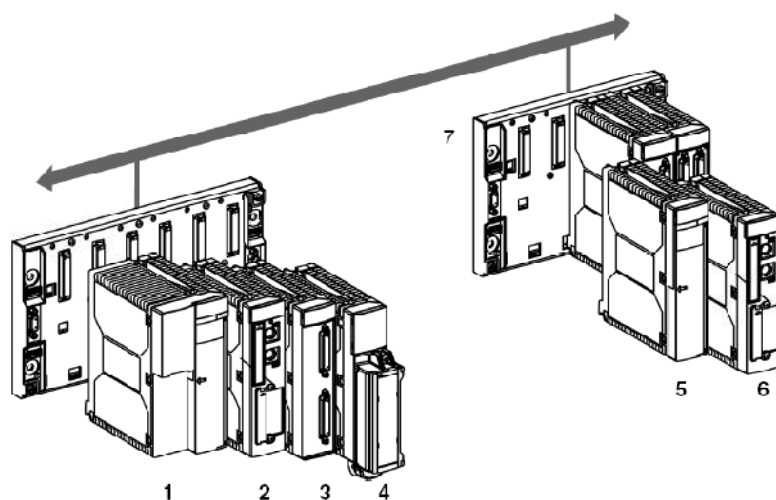


Fig. 1.2 Ejemplo de dos estaciones de autómata Premium de Telemecanique. 1. Módulo de alimentación de formato doble. 2. Módulo del procesador. 3. Módulo de traslado del bus X. 4. Módulo de entradas/salidas. 5. Módulo de alimentación en formato estándar. 6. Módulo del procesador. 7. Rack TSX RKY.

1.3.4.1. Fuente de alimentación

Realiza la conversión de la tensión de la red, normalmente de 220V de corriente alterna, a baja tensión de corriente continua (5V, 12V, 24V), siendo esta última la tensión de trabajo en los circuitos electrónicos con los que trabaja el autómat.

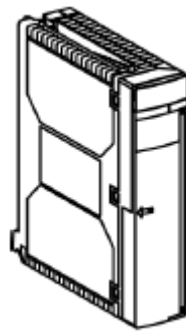


Fig. 1.3 Módulo de alimentación TSX PSY de Telemecanique (24 VCC, 1 A)

1.3.4.2. C.P.U.

La Unidad Central de Proceso es el auténtico cerebro, la parte inteligente del sistema.

Recibe las órdenes a través del programa que el técnico en automatización ha introducido por medio de la consola de programación. Los módulos de entradas suministrarán la información de la situación del sistema, la C.P.U. procesará esa información y enviará respuesta al módulo de salida.

El controlador (PLC) está formado por los siguientes elementos:

- Procesador (CPU).
- Memoria.
- Circuitos auxiliares de entradas/salidas.

El procesador

Entre las características de los procesadores utilizados por los fabricantes de autómatas, podemos citar:

- Las velocidades de tratamiento de los microprocesadores modernos son tales, que el problema de los retardos en la reacción de cambio en las salidas por

modificaciones en las condiciones de entrada se hace prácticamente inexistente.

- La tendencia actual es la descentralización de los sistemas de control, utilizando redes de pequeñas unidades de tratamiento de preferencia y de grandes unidades centralizadas.
- El desarrollo prodigioso de los microprocesadores y de los circuitos asociados en una continua reducción de sus costos nos permiten disponer de controladores cada vez más rentables.

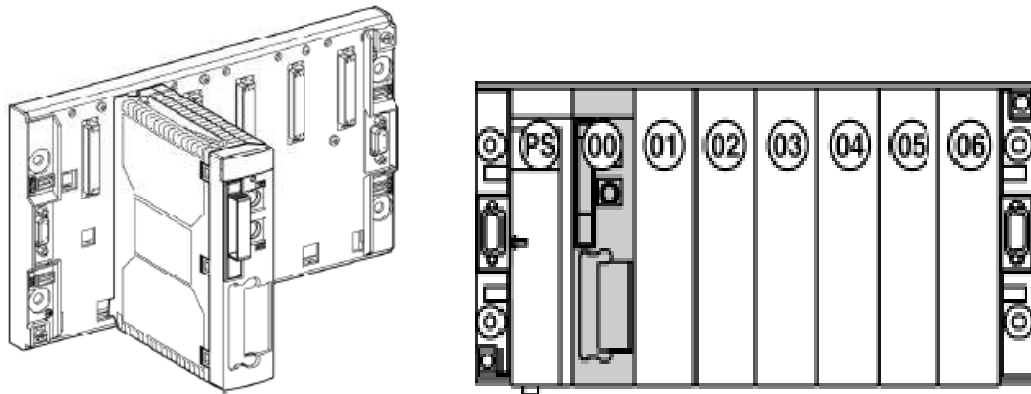


Fig. 1.4 Procesador TSX P57 de Telemecanique en su posición correspondiente del rack TSX RKY 8EX

Debido a sus capacidades de tratamiento, el microprocesador puede evidentemente asegurar las funcionalidades demandadas por el sistema a controlar. Consiste en un circuito integrado, capaz de llevar a cabo una gran cantidad de operaciones, agrupables en los siguientes términos:

- Operaciones de tipo lógico.
- Operaciones de tipo aritmético.
- Operaciones de control de transferencia de la información en el autómata.

Es necesario que el microprocesador conste de una serie de circuitos internos, para poder desarrollar todas estas operaciones:

- *Circuitos de la unidad aritmética y lógica o ALU:* en esta zona del microprocesador se realizan los cálculos y la lógica de control del autómata.
- *Circuitos de la unidad de control (UC) o Decodificador de instrucciones:* decodifica las instrucciones leídas en memoria y genera las señales de control.
- *Acumulador:* se trata de una célula de memoria particular que interviene de manera privilegiada en las operaciones de la unidad lógica. Almacena el resultado de la última operación realizada por el ALU.
- *Flags:* actúan como indicadores de resultado pudiendo ser consultados por el programa en cualquier momento.
- *Contador de programa:* se ocupa del seguimiento de las instrucciones del usuario.

- *Bus (interno)*: se trata de zonas conductoras en paralelo que transmiten datos, direcciones, instrucciones y señales de control entre las diferentes partes del microprocesador.

En este proyecto, se propone como procesador a utilizar en la instalación el TSX P57 104 de la serie Premium de Telemecanique, cuyas características generales se muestran a continuación:

| Características | | | TSX P57 104 |
|-----------------------------|---|--|-------------|
| Configuración máxima | Número máximo de bastidores TSX RKY 12E | | 2 |
| | Número máximo de bastidores TSX RKY 4EX/6EX/8EX | | 4 |
| | Número máximo de slots | | 27 |
| Funciones | Número máximo de canales | E/S TON en bastidor | 512 |
| | | E/S analógicas en bastidor | 24 |
| | | Funciones específicas (conteo, eje...) | 8 |
| | Número máximo de conexiones | Uni-Telway integrado (conector terminal) | 1 |
| | | Red (ETHWAY, Fipway, Modbus Plus) | 1 |
| | | Fipio maestro (integrado) | - |
| | | Bus de campo tercero | - |
| | | Bus de campo AS-i | 2 |
| | Fechador que puede guardarse | | sí |
| Memoria | RAM interna que puede guardarse | | 96K8 |
| | Tarjeta de memoria PCMCIA (capacidad máxima) | | 224K8 |
| Estructura de la aplicación | Tarea MAST | | 1 |
| | Tarea FAST | | 1 |
| | Tratamientos tras sucesos (1 prioritario) | | 32 |

Fig. 1.5 Tabla de características del TSX P57 104 proporcionada por Schneider Electric

La Memoria

La memoria actúa como el almacén donde el autómatas guarda todo cuanto necesita para ejecutar las tareas de control. En ella se conservan tanto los datos del proceso como los datos de control. Se consideran datos del proceso las señales de planta de entradas y de salidas, las variables internas de bit y de palabra y los datos alfanuméricos y constantes. Si hablamos de datos de control, nos referimos a las

instrucciones de usuario (programa) y a la configuración del autómatas (modo de funcionamiento, número de e/s conectadas,...)

Las placas de control microprocesadas utilizan memorias con semiconductores, las cuales pierden la información en caso de falta de alimentación. Por tal motivo, se utilizan memorias ROM para los programas encargados del sistema operativo, memorias RAM alimentadas con batería para el programa del usuario y memorias RAM normales para el tratamiento de datos en proceso de elaboración.

Igualmente, surgen variantes como son las memorias EPROM, de solo lectura y reprogramables por borrado ultravioleta y las EEPROM, de solo lectura y alterable por medios eléctricos.

La memoria RAM funciona principalmente como memoria interna, y únicamente lo hace como memoria de programa en el caso de que pueda asegurarse el mantenimiento de los datos con una batería auxiliar.

La memoria ROM cumple el cometido de almacenar el programa monitor, es decir, la herramienta encargada de controlar una serie de situaciones preestablecidas del sistema.

Las memorias EEPROM se emplean principalmente para almacenar programas, aunque en la actualidad es cada vez más frecuente el uso de combinaciones RAM + EEPROM. Una vez reanudada la alimentación, el contenido de la EEPROM se vuelca sobre la RAM. Las soluciones de este tipo están sustituyendo a las clásicas RAM + batería, puesto que presentan muchos menos problemas.

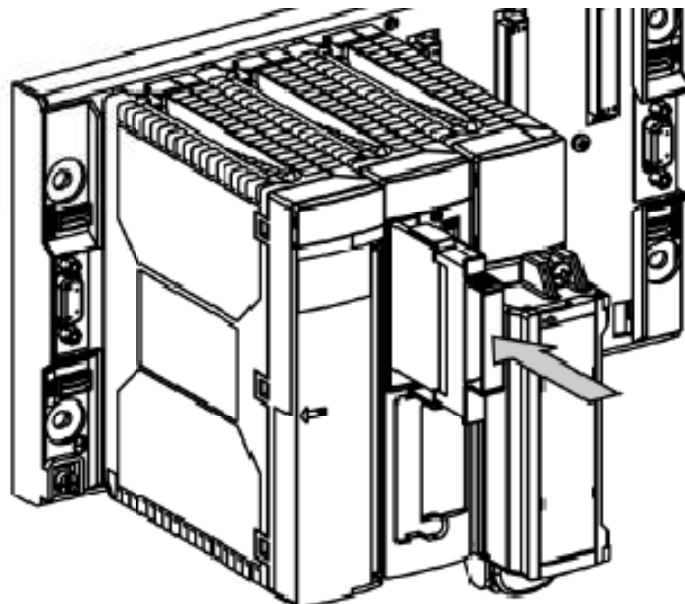


Fig. 1.6 Posicionamiento de la tarjeta de memoria en el autómata TSX 5710 de Telemecanique



Memoria interna

En un autómata programable, la memoria interna es aquella que almacena el estado de las variables que maneja el autómata: entradas, salidas, contadores, relés internos, señales de estado, etc. Esta memoria interna se encuentra dividida en varias áreas, cada una de ellas con un cometido y características distintas.

Las variables contenidas en la memoria interna, pueden ser consultadas y modificadas por el programa un número indefinido de veces. Esta continua actualización de datos, obliga a que la construcción de dicha memoria se lleve a cabo con dispositivos RAM.

La clasificación de la memoria interna se realiza atendiendo al tipo de variables que almacena y el número de bits que ocupan. Así, la memoria interna del autómata queda clasificada en las siguientes áreas:

1. Objetos de memoria

Esta área engloba elementos de memoria auxiliares de tipo:

- Bits (%Mi)
- Bytes, 8 bits (%MBi)
- Palabras de longitud simple, 16 bits (%MWi)
- Palabras de longitud doble, 32 bits (%MDi)
- Palabra real con coma flotante (%MFi)

2. Objetos de sistema

En esta área aparecen bits y palabras con funciones predefinidas por el sistema:

- Bits sistema (%Si)
- Palabras sistema de longitud simple, 16 bits (%SWi)
- Palabras sistema de longitud doble, 32 bits (%SDi)

3. Constantes

Los distintos tipos de constantes se encuentran en esta sección de memoria interna:

- Constantes de tamaño bytes, 8 bits (%KBi)
- Constantes de longitud simple, 16 bits (%KWi)



- Constantes de longitud doble, 32 bits (%KDi)
- Constantes real con coma flotante (%KFi)

4. *Objetos GRAFCET*

Los elementos asociados a las etapas se encuentran en esta área:

- Objetos bit asociados a etapas que permiten conocer el estado de la etapa i del gráfico principal, chart (%Xi)

5. *Objetos de bloques función predefinidos*

Los bloques función instalan los objetos bits y palabras específicas correspondientes a salidas de bloque, parámetros de configuración y valores actuales de bloque, según el tipo de bloque al que se refieran:

- Relativo a temporizadores (%T M_i)
- Relativo monoestables (%M N_i)
- Relativo a contadores (%C i)
- Relativo a registros (%R i)
- Relativo a registros dobles (%D R_i)

6. *Objetos de módulos de entradas y salidas*

Según a que estén referidos los objetos o palabras, tendremos:

- Relativo a entradas (%I $f.r.v$)
- Relativo a salidas (%Q $f.r.v$)

Donde la letra “f” corresponde al formato (booleano, palabra o doble palabra), pudiendo omitirse si este es booleano, la “r” corresponde al número de rack que ocupa el módulo y la “v” representa el número de vía dentro del rack.



Memoria de programa

La memoria de programa, es externa a la CPU y se encarga del almacenaje del programa escrito por el usuario para su aplicación, donde cada instrucción ocupa un paso.

Las memorias de programa o memorias de usuario del autómatas deben poder sufrir sin peligro cortes de alimentación de mayor o menor duración, razón por la que son siempre de tipo permanente RAM + batería o EPROM/EEPROM. Por lo general la mayoría de los fabricantes de autómatas ofrecen la posibilidad de utilizar memorias RAM con batería para la fase de desarrollo y depuración de los programas, permitiendo el paso de estos a memorias no volátiles EPROM o EEPROM una vez finalizada esta fase.

La ejecución del programa en el módulo es siempre prioritaria, de modo, que si se aplica tensión al autómatas con un módulo conectado, la CPU ejecuta preferencialmente el programa que porte este último, frente al contenido en memoria RAM interna.

Memoria sistema

Esta memoria, es programada en la fábrica por el fabricante. Puede, por tanto, ser realizada en tecnología EPROM, es decir, programable una sola vez, sin posibilidad de borrado. Además del sistema operativo del autómatas contiene las siguientes rutinas, incluidas por dicho fabricante.

- Inicialización tras puesta en tensión o reset.
- Rutinas de test y de respuesta a error de funcionamiento.
- Intercambio de información con unidades exteriores.
- Lectura y escritura de las interfaces de E/S.

Igualmente, sobre esta memoria del sistema, el fabricante graba una serie de programas ejecutivos (software del sistema) que consta de una serie de funciones básicas que el microprocesador se encarga de realizar en determinados tiempos de cada ciclo.

En general, cada autómatas contiene y realiza las siguientes funciones:

- Vigilar que el tiempo de ejecución del programa de usuario no exceda de un determinado tiempo máximo. A esta función se le denomina Watchdog.
- Ejecutar el programa introducido por el usuario.
- Crear una imagen de las entradas, ya que el programa de usuario no debe acceder directamente a dichas entradas.
- Actualizar el estado de las salidas en función de la imagen de las mismas, obtenida al final del ciclo de ejecución del programa usuario.
- Chequeo del sistema.



1.3.4.3. Módulo de entradas

Este módulo, tiene como finalidad la conexión eléctrica de los captadores o sensores con el autómata. La información recibida en él, es enviada a la CPU para ser procesada de acuerdo a la programación residente.

Se pueden diferenciar dos tipos de captadores conectables al módulo de entradas:

- Los *captadores pasivos* son aquellos que cambian su estado lógico (activo, no activo) por medio de una acción mecánica. Claros ejemplos de este tipo de captadores serían los Interruptores, pulsadores, finales de carrera, etc.
- Los *captadores activos* son dispositivos electrónicos que necesitan ser alimentados por una tensión para que varíen su estado lógico. Este es el caso de los diferentes tipos de detectores (inductivos, capacitivos, fotoeléctricos). En muchos casos, estos aparatos pueden ser alimentados por la propia fuente de alimentación provista por el autómata (normalmente 24Vcc).

Los detectores o sensores pueden ser contactos normalmente abiertos o normalmente cerrados dependiendo de su función en el circuito. En cuanto a su naturaleza, las entradas pueden ser de tipo analógico o de tipo digital como se describe a continuación.

Entradas digitales

Los módulos de entrada digital, tienen la peculiaridad de interpretar las señales recibidas de los captadores conectados a ellos como señales lógicas, es decir, señales de todo o nada.

Los módulos de entradas digitales trabajan con señales de tensión. En el supuesto de caso de recibir por una vía 24 voltios, el autómata lo interpreta como un "1" lógico, mientras que si no recibe tensión lo trata como un "0" lógico.

En el proceso de adquisición de la señal digital, se pueden diferenciar varias etapas:

- Protección contra sobretensiones.
- Filtrado.
- Puesta en forma de la onda.
- Aislamiento galvánico u obtenido por optoacoplamiento.

Entradas analógicas

Los módulos de entradas analógicas permiten que los autómatas programables trabajen con captadores de mando analógico y reciban de ellos señales de tipo analógico con las que poder trabajar, como pueden ser señales de temperatura, presión, caudal, etc.

Los módulos de entradas analógicas convierten una magnitud analógica en un número que se almacena en una variable interna del autómata, realizando una conversión analógico/digital (A/D), puesto que el autómata solo trabaja con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (numero de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo).

Cabe destacar la posibilidad que ofrecen estos módulos para recibir e interpretar, tanto tensión como intensidad a su entrada.

Al igual que en el caso de las señales digitales, en el proceso de adquisición de señales analógicas también existen una serie de etapas:

- Filtrado.
- Conversión A/D.
- Memoria interna.

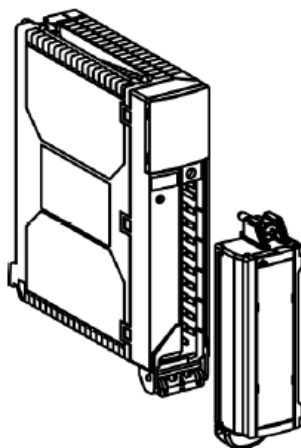


Fig. 1.7 Módulo de E/S de terminales con tornillos, autómata Premium de Telemecanique

1.3.4.4. Módulo de salidas

El módulo de salidas del autómata es el encargado de activar y desactivar los actuadores (bobinas de contactores, lámparas, motores pequeños, etc.). Una vez procesada la información enviada por las entradas a la CPU, se actualizan los módulos de salida según las directrices que marque la programación. De esta manera, dichas salidas se activan y a su vez activan los actuadores que en ellas están conectados.



Según el tipo de proceso a controlar por el autómata, podemos utilizar diferentes módulos de salidas en función de la naturaleza de las señales con las que vayamos a trabajar.

Salidas digitales

Los módulos de salida digital permiten al autómata programable actuar sobre los preaccionadores y accionadores que admitan órdenes de tipo lógico, todo o nada.

El valor binario de las salidas digitales se convierte en la apertura o cierre de un relé interno del autómata en el caso de módulos de salidas a relé.

En los módulos estáticos (bornero), los elementos que conmutan son los componentes electrónicos como transistores o triacs, y en los módulos electromecánicos son contactos de relés internos al módulo.

Los módulos de salidas estáticos al suministrar tensión, solo pueden actuar sobre elementos que trabajan a la misma tensión, en cambio los módulos de salida electromecánicos, al ser libres de tensión, pueden actuar sobre elementos que trabajen a tensiones distintas.

El proceso de envío de la señal digital consta una serie de etapas:

- Puesta en forma.
- Aislamiento.
- Circuito de mando (relé interno).
- Protección electrónica.
- Tratamiento cortocircuitos.

Salidas analógicas

Los módulos de salida analógica permiten que el valor de una variable numérica interna del autómata se convierta en un valor de tensión o intensidad proporcional. Para ello, se realiza una conversión digital/analógica (D/A), puesto que el autómata solo trabaja con señales digitales. Esta conversión se lleva a cabo con una precisión o resolución determinada (numero de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo de actualización).

Esta tensión o intensidad de salida puede servir de referencia de mando para actuadores que admitan mando analógico, como pueden ser los variadores de velocidad, las etapas de los tiristores de los hornos, reguladores de temperatura... permitiendo al autómata realizar funciones de regulación y control de procesos continuos.

De igual modo que en el caso de las salidas digitales, existen una serie de etapas en el proceso de envío de la señal analógica:

- Conversión D/A.
- Circuitos de amplificación y adaptación.
- Protección electrónica de la salida.

Hay que destacar que las señales analógicas requieren de un gran proceso de adaptación tanto en los módulos de entrada como en los módulos de salida. Las funciones de conversión A/D y D/A que se realizan son esenciales.

Los módulos de E/S digitales, son clasificables en tres tipos según la función del dispositivo al que vayan a ser conectados, como se explica posteriormente:

- Conexión a relé
- Conexión a triac
- Conexión a transistor

Módulos de salidas a relés

Son usados en circuitos de corriente continua y alterna. Están basados en la conmutación mecánica, por la bobina del relé, de un contacto eléctrico normalmente abierto.

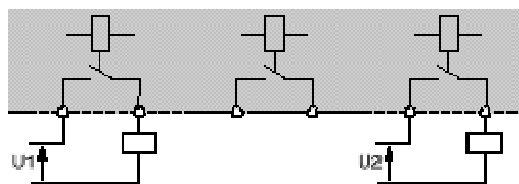


Fig. 1.8 Salida a relés

Módulos de salidas a triacs

Se emplean en circuitos de corriente continua y corriente alterna que necesiten maniobras de conmutación muy rápidas.

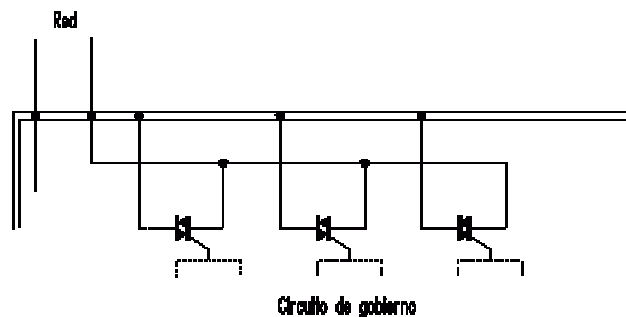


Fig. 1.9 Salida a triacs

Módulos de salidas a transistores a colector abierto

El uso de este tipo de módulos es exclusivo de los circuitos de corriente continua. Igualmente que en los módulos con salida a triacs, es utilizado en circuitos que necesiten maniobras de conexión/desconexión muy rápidas.

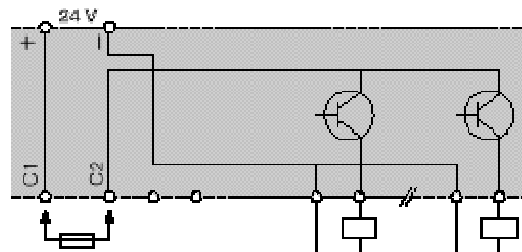
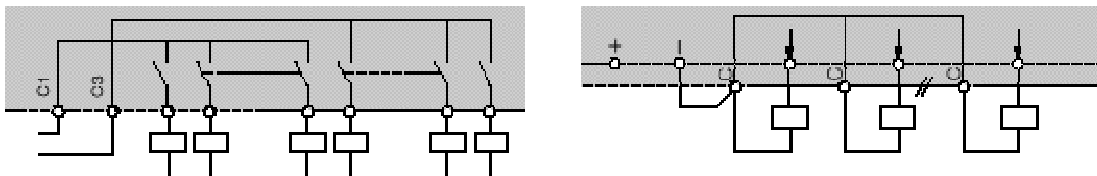


Fig. 1.10 Salida a transistor a colector abierto

La forma de conectar los actuadores a los módulos de salidas, dependerá del tipo de módulo utilizado. En las imágenes 1.11 y 1.12 se muestran algunos ejemplos de conexión:



Figs. 1.11 y 1.12 Distintos tipos de conexionado para salidas a colector abierto

1.3.4.5. Terminal de programación

El terminal o consola de programación permite establecer la comunicación entre el operario y el sistema. Las funciones básicas de éste son las siguientes:

- Transferencia y modificación de programas.
- Verificación de la programación.
- Información del funcionamiento de los procesos.
- Escritura de programa

Como consolas de programación pueden encontrarse las construidas específicamente para el autómatas, de tipo calculadora (figura 1.13), o bien un ordenador personal, PC, que soporte un software especialmente diseñado para resolver los problemas de programación y control (figura 1.14).



Fig. 1.13 Terminal de programación portátil

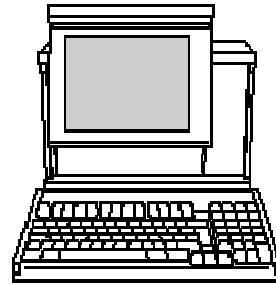


Fig. 1.14 Terminal de programación compatible PC

1.3.4.6. Periféricos

Los periféricos no intervienen directamente en el funcionamiento del autómatas, pero facilitan, en ocasiones en gran medida, la labor del operario. Entre los más utilizados destacan las grabadoras, las impresoras, los cartuchos de memoria EEPROM y los visualizadores y paneles de operación OP, estos dos últimos mostrados en las imágenes 1.15 y 1.16 que aparecen a continuación.



Fig. 1.15 Panel de Operación

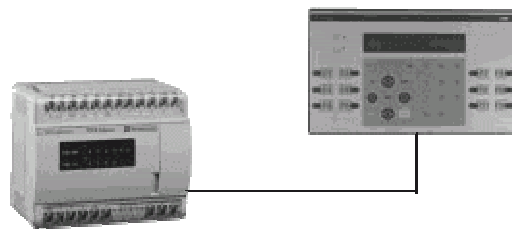


Fig. 1.16 Conexión de un visualizador a un autómatas

1.4. Lenguajes de programación

Cuando surgieron los autómatas programables, lo hicieron con la necesidad de sustituir a los enormes cuadros de maniobra contruidos con contactores y relés, por lo que la comunicación hombre-máquina debería buscar ser similar a la utilizada hasta

ese momento. El lenguaje usado entonces para la programación de PLC's, debería ser interpretado con facilidad por los mismos técnicos electricistas que anteriormente estaban en contacto con la instalación. Por este motivo, cuantas más similitudes guardaran los nuevos lenguajes de programación con los esquemas eléctricos con los que estaban acostumbrados a trabajar, más fácil sería la adaptación a los nuevos sistemas.

En los últimos tiempos, estos lenguajes han evolucionado, hasta tal punto, que algunos de ellos ya no tienen similitudes con el clásico plano eléctrico a relés. Cabe destacar alguno de los lenguajes más significativos:

Lenguaje de contacto o ladder (LD)

Este lenguaje es el que más similitudes tiene con el utilizado por un electricista a la hora de elaborar cuadros de automatismos. Muchos autómatas incluyen módulos especiales de software para poder programar gráficamente de esta forma.

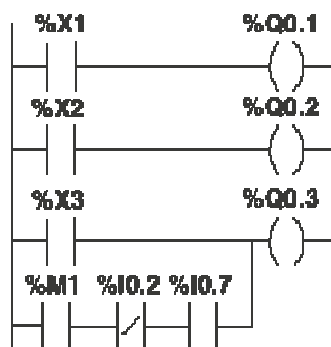


Fig. 1.17 Ejemplo de lenguaje de programación ladder

Lenguaje por lista de instrucciones

En los autómatas de gama baja, es el único lenguaje de programación. Consiste en la elaboración de una lista de instrucciones o nemónicos que se asocian a los símbolos y su combinación en un circuito eléctrico a contactos.

| | | | |
|-----|-----|-------|-----------------------------------|
| 000 | LD | %I0.1 | Bp. inicio ciclo |
| | AND | %I0.0 | Cp. presencia vehículo |
| | AND | %M3 | Bit autorización reloj calendario |
| | AND | %I0.5 | Fc. alto rodillo |
| | AND | %I0.4 | Fc. detrás pórtico |
| 005 | S | %M0 | Memo inicio ciclo |
| | LD | %M2 | |
| | AND | %I0.5 | |
| | OR | %I0.2 | Bp. parada ciclo |
| | R | %M0 | |
| 010 | LD | %M0 | |
| | ST | %Q0.0 | Piloto ciclo |

Fig. 1.18 Ejemplo de lenguaje de programación por lista de instrucciones

Texto estructurado

El texto estructurado (structured text o ST) es un lenguaje de alto nivel, estructurado por bloques y que posee una sintaxis parecida a PASCAL, teniendo sus orígenes en este último lenguaje, además de en Ada y 'C'.

El ST puede ser utilizado para codificar expresiones complejas e instrucciones anidadas, poseyendo además soporte para bucles como REPEAT-UNTIL, ejecuciones condicionales empleando sentencias IF-THEN-ELSE y funciones como SQRT y SIN.

GRAFCET (SFC, sequential function chart)

Es conocido como gráfico de orden de etapas de transición, siendo especialmente diseñado para resolver problemas de automatismos secuenciales. El gráfico funcional secuencial (SFC o Grafcet) es un lenguaje gráfico que proporciona una representación en forma de diagrama de las secuencias del programa.

Como se puede observar en la figura 1.18, las condiciones a cumplir son asociadas a las transiciones, mientras que las acciones son asociadas a las etapas, lo cual lo convierte en un lenguaje enormemente sencillo de interpretar por operarios sin conocimientos de este tipo de automatismos eléctricos.

Muchos de los autómatas que existen en el mercado permiten la programación en lenguaje GRAFCET, tanto en modo gráfico como por lista de instrucciones.

Más adelante se trata sobre este lenguaje con más detalle, en el capítulo titulado "Anexo GRAFCET".

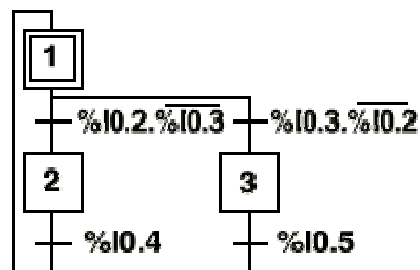


Fig. 1.19 Ejemplo de lenguaje de programación Grafcet

Bloques funcionales (FBD)

El plano de funciones lógicas, es un lenguaje que resulta especialmente cómodo de utilizar para técnicos habituados a trabajar con circuitos de puertas lógicas, ya que la simbología usada en ambos es equivalente.

Los bloques de funciones (FB's) son bloques estándar que ejecutan algoritmos como reguladores PID. Los FB's son definidos empleando una metodología estándar. Hay controles empleando parámetros externos, mientras que los algoritmos internos permanecen ocultos empleando programación orientada a objetos.

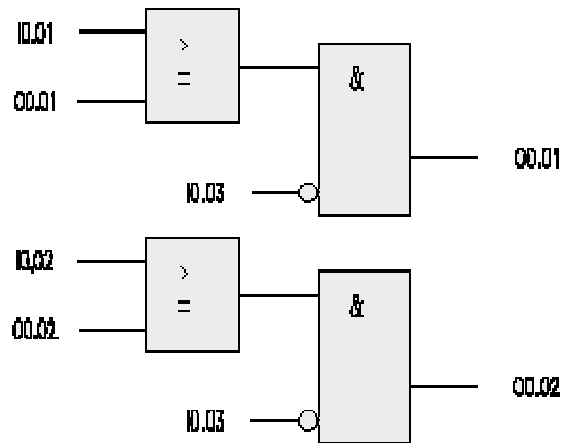


Fig. 1.20 Ejemplo de lenguaje de programación por plano de funciones

2. Proceso de anodizado

2.1. Contexto histórico

En los pasados años 20, el aluminio provocó un giro radical en el mundo de los metales con sus ventajas de peso, fortaleza, fabricación, flexibilidad y durabilidad.

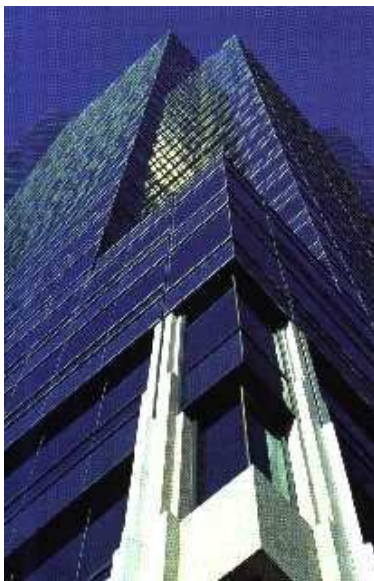


Fig. 2.1 Edificio construido empleando materiales anodizados

Desde entonces, las técnicas de acabado han provisto una constante implementación de protecciones y mejoras de coloración. La primera y más importante de estas mejoras fue el desarrollo de los procesos de anodizado, los cuales convierten la superficie del aluminio en extremadamente dura, duradera, resistente a la corrosión, y resistente a largo plazo a la oxidación.

El proceso de anodizado de aluminio en la actualidad incluye líneas especializadas, incluyendo el horneado, el bobinado continuo, los perfiles e incluso el anodizado en cestas de pequeñas piezas. Esta tecnología especializada de procesamiento ha permitido a la industria mantenerse competitiva y al mismo tiempo proporcionar excelentes calidades de acabado.

Las recientes innovaciones en las técnicas de coloración, nos permiten, por otro lado, obtener una amplia gama de colores, de extraordinaria belleza mediante las ventajas técnicas del anodizado.

Cualquiera que sea la forma de procesar el aluminio, el anodizado nos permite obtener uno de los mejores acabados de la industria.

2.2. Concepto de anodizado

Cuando metales como el Aluminio o el Titanio quedan expuestos al medio ambiente, la mayoría de los metales sufre el proceso denominado “corrosión”. Éste puede tener distintos grados de severidad, pero independientemente de ellos, la



superficie del metal se transforma cambiando su aspecto y sobre todo sus propiedades mecánicas.

La anodización o anodizado es una técnica utilizada para modificar la superficie de un material. En concreto, se conoce como anodizado a la capa de protección artificial que se genera sobre el aluminio mediante el óxido protector del aluminio, conocido como alúmina. Esta capa se consigue por medio de procedimientos electroquímicos, de manera que se consigue una mayor resistencia y durabilidad del aluminio.

Con estos procedimientos se consigue la oxidación de la superficie del aluminio, creando una capa de alúmina protectora para el resto de la pieza. La protección del aluminio dependerá en gran medida del espesor de esta capa (en micras).

El nombre del proceso deriva del hecho que la parte a tratar con este material forma la parte del ánodo del circuito eléctrico en este proceso electrolítico.

La anodización es usada frecuentemente para proteger el aluminio y el titanio de la abrasión, la corrosión, y para poder ser tintado en una amplia variedad de colores.

En el caso del aluminio, este se protege de forma natural de la acción de los agentes atmosféricos mediante una delgada película de óxido. Esta capa de Al_2O_3 tiene un espesor más o menos regular del orden de $0,01 \mu$ sobre el metal recientemente decapado y puede llegar a $0,2$ o $0,4 \mu$ sobre metal que haya permanecido en un horno de recocido.

Se pueden obtener películas de óxido artificialmente mucho más gruesas y de características distintas a las de la capa natural, más protectoras, por procedimientos químicos y electrolíticos. El proceso de anodizado permite formar capas en las que el espesor puede, a voluntad, ser de pocas μ a $25/30 \mu$ en los tratamientos de protección o coloración, llegando a las 100μ o más por procesos de endurecimiento superficial, en lo que sería el anodizado duro.

2.3. Beneficios del anodizado

El acabado proporcionado por el anodizado es el único en la industria de los metales que satisface cada uno de los factores que deben ser tenidos en cuenta en la selección de un acabado de aluminio de alto rendimiento. Son los siguientes:

- **Durabilidad:** la mayoría de los productos anodizados tienen una vida extremadamente larga y ofrecen ventajas económicas significativas en cuanto a mantenimiento se refiere.
- **Estabilidad del color:** los recubrimientos anódicos externos hacen que el aluminio sea altamente resistente a los rayos ultravioleta, evita que el color se

agriete o se “caiga” y la coloración es repetitiva, esto es, podemos obtener todas las piezas que queramos exactamente del mismo color.

- **Facilidad de mantenimiento:** las marcas o huellas de fabricación, manipulación, instalación y limpiado periódico de la suciedad de la superficie son virtualmente inexistentes. Simplemente mediante enjuagado o lavado con agua y jabón recuperemos el estado original de una superficie anodizada.
- **Estética:** el anodizado ofrece un gran número, que se incrementa cada vez más, de brillos y alternativas de color y minimiza o elimina las variaciones de color. Al contrario que otros acabados, el anodizado permite que el aluminio mantenga su apariencia metálica.
- **Costo:** un costo inferior con respecto al resto de acabados, junto con menores costos de mantenimiento, permiten un abaratamiento tanto a corto como a largo plazo.
- **Salud y seguridad:** el anodizado es un proceso seguro no perjudicial para la salud humana. El acabado de anodizado es químicamente estable, y no se descompondrá, no es tóxico y es resistente al calor hasta la temperatura de fundido del aluminio (1221°F). El proceso de anodizado es tan solo un refuerzo del proceso de oxidación natural que ocurre en el aluminio.



Fig. 2.2 Reproductor MP3 con carcasa de aluminio anodizado

2.4. Comportamiento medioambiental

El respeto al medio ambiente y su seguridad se encuentran entre las principales características del proceso de anodizado, ahora que la preocupación por la protección del hombre y por la calidad de la tierra, el agua y el aire ha cobrado tanta relevancia.



El anodizado utiliza productos químicos sencillos que pueden ser tratados fácilmente y que no emiten residuos contaminantes. Los residuos líquidos son reciclados y reutilizados. Los residuos sólidos pueden ser aislados y utilizados para la fabricación de alúmina, levadura, cosméticos, periódicos, fertilizantes y sistemas de purificación de agua.

Cabe destacar, que el respeto que el proceso de anodizado tiene con el medio ambiente queda reflejado en que la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos, se refiere a él como un proceso “amigable” con el medio ambiente.

El anodizado crea unos residuos compuestos primordialmente de hidróxido de aluminio, sulfato de aluminio y agua. Estos residuos no son dañinos ya que no contienen cantidades significativas de metales pesados. En algunos casos, Las plantas de depuración de agua se benefician de estos residuos utilizándolos como filtros en el tratamiento de aguas residuales.

2.5. Definiciones y métodos de anodizado

Mientras que el proceso de anodizado químico es el mismo para todas las aplicaciones, el método de anodizado mecánico puede variar en función del tipo y de la forma del metal que queramos anodizar, pudiendo encontrar así:

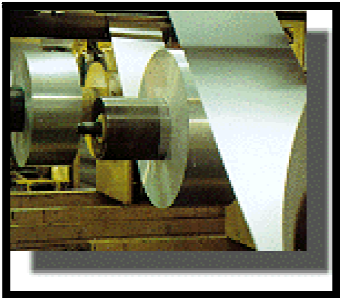
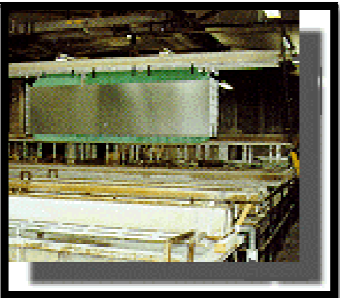
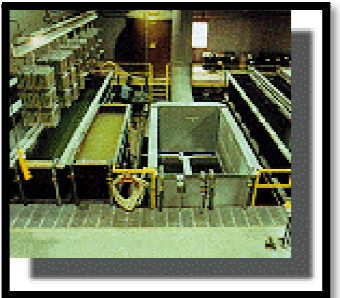
- **Anodizado de piezas:** pequeñas piezas dentro de canastas son sumergidas en una serie de tanques de tratamiento. Mediante este proceso podemos anodizar perfiles extrusionados, piezas mecanizadas de aluminio, piezas fabricadas por estampación, etc....
- **Anodizado en continuo:** bobinas de aluminio van pasando mediante un proceso continuo a través de una serie de tanques de anodizado, para ser enrolladas de nuevo una vez terminado el proceso. Este método es usado para el anodizado de láminas de gran volumen.
- **Anodizado de láminas:** similar al anodizado de piezas. Consiste en sumergir láminas de metal en grandes tanques de anodizado.

Las opciones de apariencia y la calidad son mejoradas mediante el uso de tintes y procedimientos especiales de pretratamiento. Esto hace que el aluminio pueda tener la apariencia del acero inoxidable, del estaño, cobre, bronce o que pueda ser coloreado con brillantes verdes, rojos, azules y muchas variedades de oro metálico y plata, como se observa en la figura 2.3.



Fig. 2.3 Colores obtenibles mediante coloración en material anodizado

En función del método de anodizado empleado, se puede realizar la siguiente clasificación:

| Anodizado en continuo | Anodizado de láminas | Anodizado de piezas |
|--|---|--|
| Usos Gran volumen. Bobinas. Rollos. Productos con formas simples. | Usos Grandes anchuras. Piezas de gran tamaño. Piezas lisas. | Usos Extrusiones. Piezas con formas complejas. |
| Ventajas Amplio rango de metales y espesores. Menor manipulación del material. Coloración precisa y uniforme. Costo reducido. | Ventajas Rapidez. Películas de oxidación obtenidas de mayor espesor. Se anodizan los bordes. | Ventajas Rapidez. Películas de oxidación obtenidas de mayor espesor. Se anodizan los bordes. |
| Desventajas Los bordes no son anodizados. Limitado a láminas y rollos. | Desventajas Variabilidad de color. Elevado costo. Variabilidad de espesor de la capa de anodizado | Desventajas Variabilidad de color. Elevado costo. Excesiva manipulación. |
|  |  |  |
| Fig. 2.4 Anodizado en continuo | Fig. 2.5 Anodizado de láminas | Fig. 2.6 Anodizado de piezas |

2.6. Principio del anodizado

Si llenamos una cuba con agua convertida en conductora mediante la adición de una pequeña cantidad de ácido, de base o de sal y si en este electrolito, disponemos de un cátodo (polo negativo) inatacable (níquel o plomo) y un ánodo de aluminio, podremos observar un desprendimiento de hidrógeno en el cátodo y ningún desprendimiento en el ánodo.



Observamos, por otra parte, que el ánodo de aluminio se ha recubierto de una película de alúmina. El oxígeno procedente de la disociación electrolítica del agua ha sido utilizado para oxidar el aluminio del ánodo. De aquí la expresión “oxidación anódica” anteriormente utilizada y sustituida actualmente por el término «anodizado». La naturaleza del electrolito tiene una importancia capital sobre los fenómenos que se desarrollan en la superficie anódica.

Podemos señalar dos tipos de reacciones anódicas, que presentan variantes:

- En los electrolitos que no tienen acción disolvente sobre la capa de óxido, se forma una película muy adherente y no conductora. El crecimiento de la película se realiza hasta que su resistencia eléctrica es tan elevada que impide la circulación de la corriente hacia el ánodo. Se forma entonces una capa llamada “capa barrera”.
- En los electrolitos que tienen una acción disolvente sobre la capa de óxido, si el metal mismo es disuelto y si los productos de reacción son solubles en el electrolito, no se forma capa de óxido.

El proceso de anodizado en medio sulfúrico es el más utilizado debido a las condiciones económicas de explotación, a los resultados satisfactorios obtenidos y a los medios a utilizar para obtenerlos.

La naturaleza del metal base (aluminio no aleado de diversas purezas y aleaciones) tiene una importancia vital sobre los resultados que se consiguen y los medios a utilizar para obtenerlos.

2.6.1. Proceso de oxidación-disolución

Es necesario recordar los dos factores esenciales de la teoría de formación de capas de óxido porosas:

- Crecimiento de la capa de óxido del exterior al interior como consecuencia de un fenómeno electro-químico puro, de donde resulta una cierta velocidad de oxidación (v_o).
- Disolución de la capa de óxido a la medida que se forma por un fenómeno puramente químico (naturalmente, relacionado con el fenómeno eléctrico), de donde resulta una cierta velocidad de disolución v_d .



2.6.2. Formación de capa porosa

Si oxidamos una pieza de aluminio en una solución que tenga una acción disolvente sobre la capa de alúmina, podemos observar que la intensidad de la corriente, para una tensión determinada, disminuye muy rápidamente pero se estabiliza en seguida a un nivel más elevado. Después de los primeros segundos de la electrólisis, se forma una verdadera capa barrera, la cual tiende hacia el valor límite de 14 A/V.

El óxido formado en este estado consiste en una alúmina anhidra, en estado amorfo (Al_2O_3) habiéndose descubierto en los últimos tiempos que esta capa está constituida por un apilamiento de células hexagonales yuxtapuestas, en las que, precisando más, el centro será de alúmina amorfa poco resistente a los ácidos, mientras que la periferia está formada por alúmina cristalina muy resistente a los ácidos.

Aparecen entonces en la superficie de la capa barrera, una multitud de puntos de ataque como consecuencia del efecto de disolución de la película por el electrolito que se produce en el centro de las células de alúmina y que constituye el comienzo de los poros.

Cada punto de ataque puede ser considerado como una fuente de corriente a partir de la cual se va a desarrollar un campo de potencial esférico. Los iones que se presentan a la separación, suministran el oxígeno nascente que transforma en óxido la porción de esfera de metal correspondiente. Simultáneamente, la acción de disolución continúa manifestándose en la base del poro, tendiendo a disminuir el espesor de la capa barrera en que se prolonga.

El poro se ahonda, los iones penetran preferencialmente, producen calor y tienden a favorecer la disolución, produciendo así un frente de avance hemisférico de la célula que se desarrolla, por lo tanto, del exterior al interior del metal a partir del fondo de los poros.

2.7. Fases en el proceso de anodizado

Podemos diferenciar dos tipos de anodizado, citados y descritos a continuación:

- Anodizado de protección
- Anodizado duro



2.7.1. Anodizado de protección

Los pasos a seguir para su realización son los siguientes:

Preparación superficial del material

Esta preparación superficial se puede realizar mediante uno de los siguientes métodos:

- Pulido con cepillo de algodón
- Lijado con bandas de lija
- Gratado con cepillo metálico
- Otros tipos de pulido

Desengrase

Para la eliminación de todas las impurezas, se somete al aluminio a un proceso de desengrase de tipo alcalino, entre 60 y 65º grados de temperatura.

Lavado con agua en circulación y con continua regeneración

Decapado de limpieza o pre tratamiento

Realizado con sosa cáustica al 5% en agua a 45-50ºC. Para la obtención de una superficie de acabado mate se sumergen las piezas o las láminas en hidróxido de sodio para eliminar las imperfecciones superficiales. Una pequeña capa de aluminio es eliminada para crear este acabado.

Para la obtención de superficies de aspecto pulido o brillante se crea un pequeño espejo sumergiendo las piezas o láminas en una mezcla concentrada de ácido nítrico y fosfórico que químicamente suavizan la superficie del aluminio.

Lavado del decapado con agua en circulación y con continua regeneración

Neutralizado

Se somete al aluminio a un baño de neutralizado de base ácida formado por ácido sulfúrico y un aditivo para evitar posibles picaduras en el material.

Lavado del neutralizado con agua en circulación y con continua regeneración.

Oxidación anódica o anodizado

Se emplea ácido sulfúrico al 20% en agua con temperatura de 19-20°C y corriente continua a 1,5 A/dm². La película anódica es creada y combinada con el metal haciendo pasar una corriente a través de un baño en ácido electrolítico en el que es sumergido.

No se forma una capa regular, tiene forma de sierra, lo cual nos obliga posteriormente a tener que sellar el material para evitar también la corrosión en el punto más bajo del poro. El espesor del revestimiento creado y las características de la superficie a anodizar han de ser controladas y tenidas en cuenta para obtener un buen acabado, ya que, en gran medida, se consigue en relación al tiempo de permanencia del aluminio en el baño. Cuanto más tiempo, más micras, y por lo tanto más espesor y protección ante la corrosión.

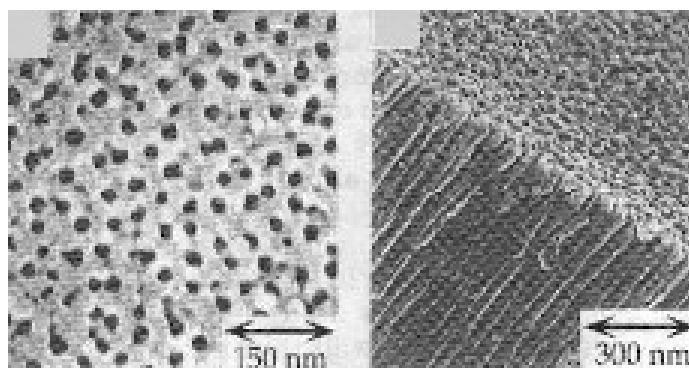


Fig. 2.7 Sección recta de la capa de adonizado a pequeña y a gran escala

Lavado de anodizado con agua en circulación y con continua regeneración.

Coloración.



Fig. 2.8 Piezas de aluminio anodizado de diversos colores

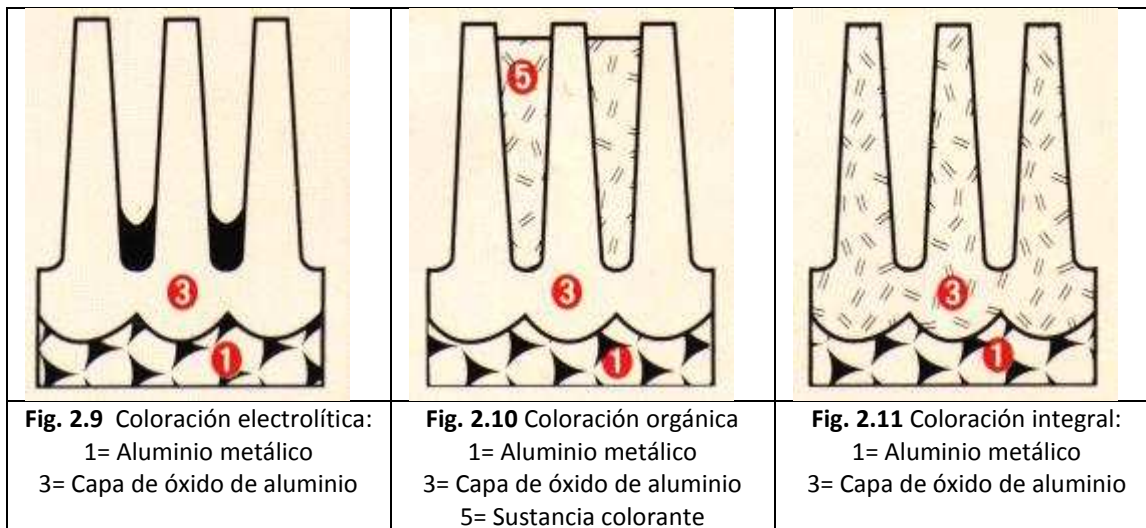


Por su estructura porosa, la capa de óxido formada en medio sulfúrico se asemeja a las fibras textiles y puede, al igual que estas, ser teñida por medio de colorantes especiales derivados de los colorantes de la industria textil. Como la capa es transparente, el brillo del metal base se transmite y pueden obtenerse aspectos que ningún otro tratamiento por pintura o barniz es susceptible de igualar. Los colorantes utilizados para el coloreado del aluminio pueden ser orgánicos o minerales.

Existen cuatro métodos de coloración, como se describe a continuación y se puede observar en las imágenes 2.9, 2.10 y 2.11:

- **Coloración electrolítica:** tras el anodizado y el posterior lavado, las piezas o láminas son sumergidas en un baño de óxido metálico. Entonces se aplica una corriente eléctrica y el óxido metálico se deposita en las porosidades de la capa de óxido. El color resultante depende del metal utilizado y de las condiciones del proceso. Los metales más usados en este tipo de coloración son el cobre, el cobalto, el níquel y la hojalata. Este proceso ofrece una gran variedad de colores de acabado y es la técnica que ofrece una mejor calidad de acabado. Son muy resistentes a la luz y al calor. Empleada en aplicaciones generales que requieran colores sólidos y que vayan a estar a la intemperie.
- **Coloración integral:** este proceso también llamado “coloración en un solo paso” combina el anodizado y la coloración, para así obtener simultáneamente la capa de óxido de protección del anodizado y el color. Este puede ser en tonos de bronce o negro. Es el proceso de coloración más caro, ya que requiere una cantidad significativamente elevada de energía eléctrica.
- **Coloración orgánica:** este método ofrece una amplia gama de colores vibrantes con intensidades que no pueden ser obtenidas mediante otro sistema de coloración. Se ha demostrado que las piezas con esta coloración tienen una durabilidad de más de 20 años. Puede ser combinado con la coloración electrolítica para la obtención de una gama de colores aún más amplia. Para este tratamiento pueden ser utilizados numerosos tipos de colorantes. Difieren especialmente en el mecanismo de absorción, siendo la mayor parte absorbidos por capilaridad. Son estos en particular los grupos de colorantes ácidos y de colorantes llamados sustantivos, como los de alizarina y los colorantes de índigo. Otros dan lugar a una combinación química con el aluminio, como los colorantes a base de compuestos metálicos, los colorantes diazo y los colorantes básicos. Estos últimos exigen ser tratados con sustancias colágenas y son poco utilizados porque su resistencia a la luz es débil. Se emplea para aplicaciones generales que se quieran colorear y que no estén expuestas a la intemperie.
- **Coloración por interferencia:** es el proceso de coloración más reciente. Consiste en la modificación de la estructura porosa de la superficie del aluminio

producida en ácido sulfúrico. Los poros se agrandan en su base y el metal se deposita en ellos produciendo colores del rango comprendido entre el verde y el azul y el rojo y el amarillo. Los colores son producidos por efecto de interferencias ópticas, en lugar de por el reflejo de la luz, como ocurre con el resto de procesos de coloración. Se espera que en los próximos años se pueda obtener un mayor número de colores.



Lavado de coloración con agua en circulación y con continua regeneración.

Colmatado o fijado

Esta es la última fase. En ella se cierran los poros de la capa anódica, dotando a la superficie de una mayor resistencia a las manchas, a la abrasión, al rallado y a la degradación de color.

La experiencia demuestra que una capa de óxido de 20 micras formada sobre aluminio y no colmatada, desaparece en unas horas en una solución decinormal de ácido nítrico. La misma capa perfectamente colmatada no experimenta ninguna pérdida prácticamente después de 1200 horas de inmersión. En realidad, una de las características principales de la alúmina formada en el colmatado o fijado es su resistencia a los ácidos.

Para aplicaciones en arquitectura, es indispensable colmatar en agua muy pura, prácticamente desmineralizada y hasta desionizada. El procedimiento más utilizado para la desmineralización es el intercambio aniónico y catiónico con resinas especiales cambiadoras de iones. Se trata de conseguir un doble cambio de iones (instalación de dos cuerpos) y no de un simple ablandamiento del agua que, por transformación de los elementos insolubles en sales solubles, corren el peligro de producir cuerpos nocivos para la calidad del colmatado o fijado. La temperatura del agua viene dada por la



temperatura de ebullición (en la práctica 97 a 100°C) con el fin de que se produzca la hidratación de forma muy lenta al contacto con las moléculas de agua a baja temperatura. El pH del baño es aconsejable mantenerlo entre 5,5 y 6,5. El reajuste se hace por medio de sosa, carbonato de sosa o ácido sulfúrico, acético y bórico.

2.7.2. Anodizado duro

Con el anodizado pueden obtenerse capas considerablemente más duras que las clásicas (y en particular más duras que las que se obtienen en medio sulfúrico-oxálico) anodizando a muy baja temperatura (0°C) en un medio electrolítico de 10 a 15% de ácido sulfúrico, con una densidad de corriente fuerte (3 A/dm²). La tensión, que será al principio de 10 V, puede llegar a ser de 80 a 100 V según la naturaleza de la aleación, siendo necesario, por otra parte, un enérgico agitado con una refrigeración eficaz.

Se pueden obtener así capas muy espesas a una velocidad de 50 micras / hora. Las capas que actualmente se consiguen son de alrededor de 150 micras, según el proceso y la aleación. La dureza de estas capas es comparable a la del cromo-duro y su resistencia a la abrasión y al frotamiento es considerable.

Su utilización para piezas mecánicas se extiende cada vez más debido al mayor conocimiento del aluminio, de sus características mecánicas y de sus nuevas aplicaciones. Puesto que se trata, en general, de piezas cuyas tolerancias dimensionales son estrechas, es necesario tener en cuenta en el mecanizado, el crecimiento de las cotas, que llega a ser del 50% del espesor efectivo de la capa.

Todas las aleaciones son susceptibles del anodizado duro, salvo las que contienen cobre, porque éste tiende a disolverse a pesar de la baja temperatura y perturba el tratamiento.

Las capas duras se obtienen a costa de una merma de flexibilidad, que limita su utilización a aquellas aplicaciones donde no vayan a sufrir choques térmicos importantes, porque la película se rompería bajo el efecto de las dilataciones fuertes.

Estas capas no son susceptibles de ser colmatadas (fijadas) con agua hirviendo por las mismas razones. Pueden, por el contrario, ser impregnadas de cuerpos grasos y lubricantes.

El anodizado duro presenta una serie de propiedades muy importantes:

- **Resistencia a la abrasión:** un poco menor que la del diamante, ya que la alúmina es un cuerpo extremadamente duro. Esto permite que tenga una resistencia al desgaste superficial superior a muchos tipos de acero.



- **Resistencia eléctrica:** la alúmina es un aislante eléctrico de calidad excelente, ofreciendo una resistencia superior a la de la porcelana. Este aislamiento depende de la porosidad y además, es muy afectado por la presencia de impurezas en el metal, caracterizándose generalmente por la medida de la tensión de ruptura.
- **Resistencia química:** la capa anódica protege eficazmente el metal base contra la acción de numerosos medios agresivos. Por este motivo, se utiliza cada vez más en ambientes navales e industriales para proteger ciertas piezas contra la corrosión. De igual forma, en la industria aeronáutica está muy extendido su uso.
- **Porosidad secundaria o apertura:** más o menos acusada en la entrada de los poros debido al efecto de disolución del baño. Se manifiesta, sobre todo, en la parte exterior de la película y se aprovecha en las técnicas de coloreado e impregnación.

3. Proyecto de Control de un proceso de anodizado

3.1. Plantas de anodizado

En la actualidad, la estructura básica de las plantas de anodizado que podemos encontrar en el mercado es similar, ya que las principales diferencias radican en la funcionalidad de las mismas. De esta manera, podremos distinguir entre plantas de anodizado en continuo o plantas de anodizado de piezas o láminas, siendo esta última, la planta que nos va a ocupar en este caso.

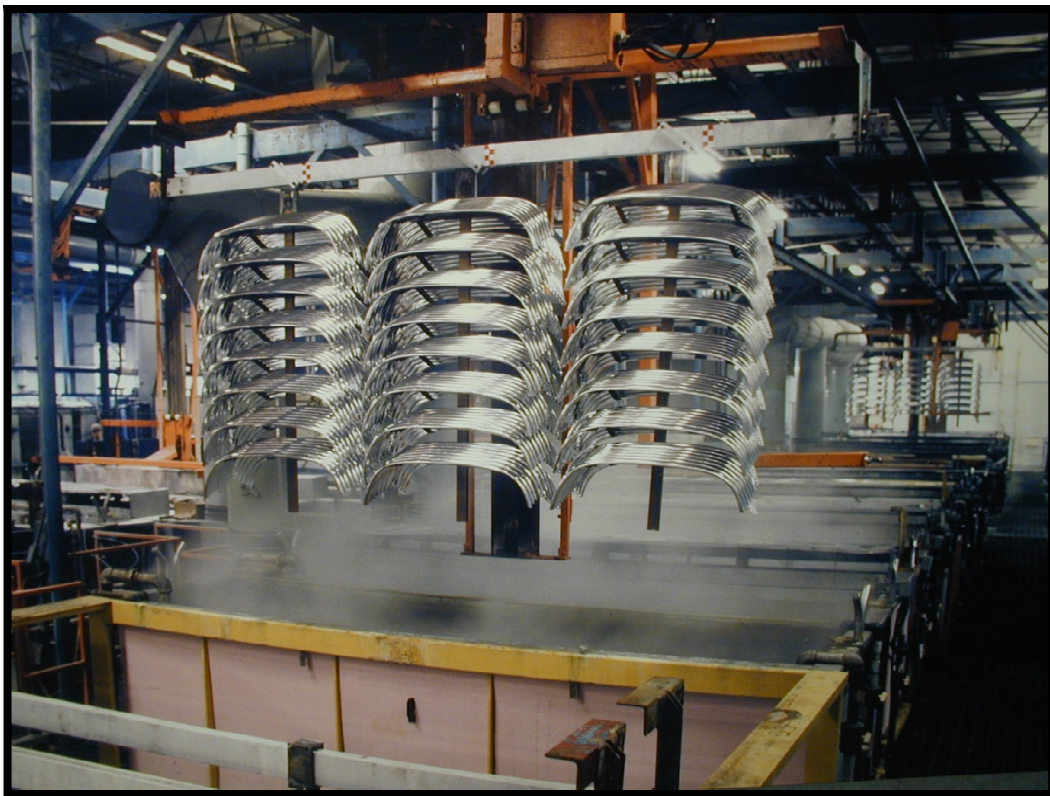


Fig. 3.1 Planta de anodizado de piezas.

Como podemos observar en la imagen anterior, una planta de anodizado de piezas consta de una serie de tanques o cubas, 21 en nuestro caso, situadas una a continuación de la anterior. En el interior de cada una de estas cubas se llevará a cabo

cada una de las fases del proceso de anodizado, siendo de extrema importancia no superar los tiempos de inmersión determinados para cada una de ellas.

Sobre los tanques, se encuentra situado un puente grúa, encargado de desplazar las piezas a anodizar de una a cuba a otra, sumergiéndolas el tiempo necesario en cada uno de los tanques.

Las piezas a anodizar han de ser dispuestas previamente en unos canastos rectangulares o en estructuras metálicas, para poder ser fácilmente izadas por el puente grúa posteriormente, como se puede observar en las figuras 3.2 y 3.3. Cabe destacar, que mediante una buena disposición previa de las piezas podemos conseguir un mejor acabado.

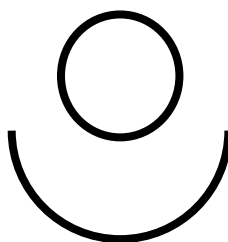


Fig. 3.2 y 3.3 Colocación previa de las piezas a anodizar

3.2. Disposición de los tanques

Para la planta de anodizado a tratar, la disposición de los tanques para los distintos tratamientos superficiales, responde al esquema que se muestra a continuación, en la figura 3.4:

Puesto del operario



| | |
|-------------------------|----|
| Zona de carga/descarga | 0 |
| Desengrase | 1 |
| Decapado | 2 |
| Lavado del decapado | 3 |
| Neutralizado | 4 |
| Anodizado I | 5 |
| Anodizado II | 6 |
| 1er lavado de anodizado | 7 |
| 2 lavado de anodizado | 8 |
| Sellado 1 | 9 |
| Sellado 2 | 10 |
| Coloración oro | 11 |
| Lavado coloración | 12 |
| Coloración negro | 13 |
| Reserva | 14 |
| Reserva | 15 |
| Lavado | 16 |
| Cromatizado | 17 |
| Pulido químico | 18 |

Fig. 3.4 Esquema de situación de la planta de anodizado

El número de ciclos que debe realizarse en cada tarea, así como el tiempo que se debe permanecer con la carga en cada cuba por ciclo, son dos variables comunes a todos los puestos de trabajo. No obstante, en el caso de las cubas de anodizado, se incluye una tercera variable que es la activación de una salida binaria que actuará sobre un módulo analógico, encargado de realizar el control de la corriente necesaria en el proceso (unos 1800A). Lógicamente, esta señal de corriente requerirá de sus correspondientes etapas de acondicionamiento y amplificación posteriores, a pesar de no ser tratado en este proyecto, para alcanzar los valores óptimos.

3.3. Funcionamiento del programa

A continuación, se describe el funcionamiento del proceso de anodizado, según lo programado en el software encargado de su control y que se encuentra incluido en el apartado “anexo software”.

En primer lugar, será el operario el encargado de rellenar en el ordenador la tabla que corresponde al programa de trabajo, indicando de esta manera los sucesivos pasos que deberá seguir la carga asignada. En cada uno de estos pasos debe figurar la cuba a la que debe dirigirse dicha carga (puesto), el tiempo que debe permanecer en ella (tiempo) y el número de ciclos en que debe repetirse el proceso (ciclos). Igualmente el operario podrá incluir una pequeña aclaración del proceso que se va a realizar (descripción). El programa de trabajo respondería a una tabla como la siguiente:

| Puesto | Descripción | Tiempo (s) | Ciclos |
|--------|-------------|------------|--------|
| | | | |
| | | | |
| ... | ... | ... | ... |

Fig. 3.5 Formato de tabla a rellenar por el operario con el programa de trabajo

Se permite al operario rellenar dos tareas consecutivas de dicha tabla con el mismo número de puesto, ya que puede ser debido a exigencias del proceso de anodizado.

La posición inicial del puente grúa siempre es la del puesto de carga/descarga, encontrándose con el gancho bajado, ya que el programa lo lleva hasta dicha ubicación cada vez que finaliza el proceso completo programado por el operario. Cabe destacar, que no existe la posibilidad de que se produzca un error por rebasamiento de la posición inicial por parte del puente grúa, ya que esta posición está particularmente señalizada, evitando así esa posibilidad mediante software.



El puente grúa no comenzará a moverse hasta que el operario actúe sobre el pulsador de arranque con la tabla de trabajo rellena, ya que en el caso de no estarlo, así como si el programa hubiera terminado de realizar la última tarea solicitada, se detectará que la siguiente casilla de dicha tabla se encuentra sin ocupar y se enviará nuevamente el puente grúa al puesto inicial considerándose que se ha finalizado con el trabajo solicitado.

El desplazamiento de la grúa a través del conjunto de las cubas, se realiza contabilizando el número de puestos por los que va pasando la carga. Mediante uno de los dos sensores inductivos situados en el propio puente grúa se detecta una pequeña pestaña sobresaliente de cada una de las cubas, exceptuando el puesto de carga/descarga, donde la detección de una pestaña doble por medio de la activación de estos dos sensores informará de la situación inicial de la carga. Es el propio autómatas, realizando las operaciones pertinentes, el encargado de gestionar el accionamiento de los motores de desplazamiento de la grúa según el puesto pedido, el puesto de origen y el número de posiciones que debe desplazarse.

El programa cuenta con un sistema de gestión de errores, por el cual, en el momento en que se detecta alguna de las anomalías previstas para el sistema, se rellena una tabla donde se guarda el número del error producido así como el momento en que se produjo, generando un historial de fallos. Es necesario activar un pulsador de rearme para que el sistema retome la tarea que estaba realizando, siendo también necesario para ello que el error haya sido subsanado.

En el momento en que entra en ejecución la maniobra de desplazamiento del puente grúa a la posición inicial por finalización de un programa de tareas y siempre que este no estuviera ya en esa ubicación, se procede automáticamente a recoger el gancho y desplazar la grúa hasta el puesto de carga/descarga, donde se activarán los dos sensores inductivos. Una vez alcanzada esa situación, se despliega el gancho totalmente para completar así la posición de inicio que ya se ha comentado anteriormente.

El operario debe establecer un tiempo máximo de desplazamiento entre una cuba y otra, ya que en caso de rebasarse este tiempo, el programa interpretará algún fallo en el desplazamiento y lo gestionará como un error.

Una vez alcanzado el puesto de destino pedido según la tabla de trabajo, el puente esperará unos segundos según el tiempo de balanceo establecido por el operario hasta comenzar el descenso del gancho, evitando así el bamboleo de la carga.

Tras detectar mediante un sensor inductivo la posición de gancho bajado, se mantiene la carga en esta posición tanto tiempo como quedará especificado en el programa de trabajo. Tras finalizar el tiempo programado, se sube la carga hasta activar el sensor inductivo de gancho subido y, o bien se repite el proceso si es que el número de ciclos pedidos aún no se ha cumplido, o bien se pasa a leer la siguiente tarea y a desplazar el puente según lo solicitado.



En el caso de detectarse una sobrecarga en alguno de los motores, el sistema lo gestiona como un error más, memorizándolo en el historial y permitiendo su reparación, ya que no se permite recobrar el movimiento hasta solucionar el problema y accionar el pulsador de rearme.

Existe la opción de hacer funcionar el sistema en modo manual accionando el selector destinado a ello. En ese momento el control de la grúa pasa a realizarse a través de un mando de control desde el que se realizan los cuatro movimientos permitidos por el puente grúa (arriba, abajo, avance, retroceso) y el transcurso del programa queda estancado hasta la reactivación del modo automático. Es por esto necesaria la restauración del puente grúa a la última posición previa al accionamiento manual, para poder así continuar con el correcto funcionamiento del sistema en automático.

El sistema cuenta con un pulsador de emergencia que detendrá el funcionamiento del proceso en el momento de ser accionado, reanudando dicho proceso tan pronto sea desactivado. Igualmente, existe un botón de reinicio que mediante su pulsación envía el programa al inicio y desplaza el puente grúa hasta la posición de carga/descarga de modo manual.

3.4. Elementos de automatización

Una vez desarrollado el funcionamiento y la estructura de la planta de anodizado que se tiene por objetivo automatizar, es necesario determinar una serie de elementos con los que se debe contar para poder llevarlo a cabo:

- Detectores de posición inductivos
- Pulsadores
- Pulsador de emergencia
- Interruptor a cerradura

3.4.1. Detectores de posición inductivos

Para detectar la posición en que se encuentra el puente grúa dentro de la línea de tanques, es necesario instalar en la parte más cercana del puente grúa a los extremos de las cubas dos sensores de proximidad. Estos sensores son los encargados

de detectar una pestaña que sobresale de dichos extremos de cada cuba, procediéndose a la activación de los dos sensores solo en el caso de encontrarse en la posición inicial, donde la pestaña dobla su tamaño.

De esta manera, se puede controlar mediante software la posición en la que se encuentra el puente grúa incrementando o decrementando una cuenta en cada paso por una pestaña.

El sensor o detector de proximidad es un transductor que detecta objetos o señales que se encuentran cerca del elemento sensor. El sensor de proximidad utilizado en esta ocasión es de tipo inductivo debido a la condición metálica de las pestañas a detectar.

Los sensores inductivos de proximidad han sido diseñados para trabajar generando un campo magnético y detectando las pérdidas de corriente de dicho campo generadas al introducirse en él los objetos de detección férricos y no férricos.

El sensor consiste en una bobina con núcleo de ferrita, un oscilador, un sensor de nivel de disparo de la señal y un circuito de salida.

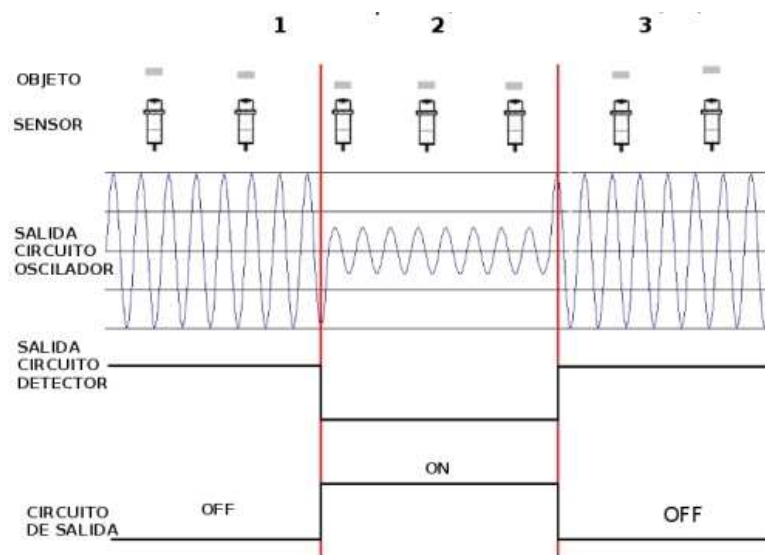


Fig. 3.5 Funcionamiento sensor de proximidad inductivo NA (normalmente abierto)

Al aproximar un objeto metálico o no metálico, se inducen distintas corrientes de histéresis en él, debido a lo cual hay una pérdida de energía y una menor amplitud de oscilación. El circuito sensor reconoce entonces un cambio específico de amplitud y genera una señal que conmuta la salida de estado sólido a la posición "ON" y "OFF".

Para la detección de la posición del puente grúa se emplearán dos sensores de tipo NA (normalmente abierto), de tal manera, que en cada paso por una cuba se cerrará el sensor, produciéndose únicamente el cierre de los dos sensores en el caso de encontrarse en la posición inicial de carga/descarga.

En la parte superior del puente grúa, se instalará otro sensor de proximidad inductivo NA, que servirá para determinar si el gancho del puente grúa encargado de portar la carga está en su posición más elevada.



Fig. 3.6 Puente grúa de una planta de anodizado

En la parte inferior del puente grúa se instalará otro sensor de proximidad inductivo, que servirá para determinar que el gancho que sostiene la viga de la que cuelga el canasto o la estructura metálica que contenga las piezas, ha alcanzado su posición inferior, esto es, el canasto o la estructura metálica se encuentran sumergidos en el tanque en que se encuentre el puente grúa. Al igual que los sensores anteriores, funcionará con lógica NA.



Fig. 3.7 Sensor XSB-C10710

Los sensores de proximidad inductivos utilizados serán del tipo XSB-C10710 ya que su tensión de trabajo es de entre 24V y 48V de corriente continua, que es la aplicada por el módulo de entradas del PLC.

3.4.2. Pulsadores

Un pulsador es un elemento que permite el paso o interrupción de la corriente mientras es accionado. Cuando ya no se actúa sobre él vuelve a su posición de reposo.

Al igual que el resto de dispositivos, puede ser de contacto normalmente cerrado en reposo NC, o de contacto normalmente abierto NA.

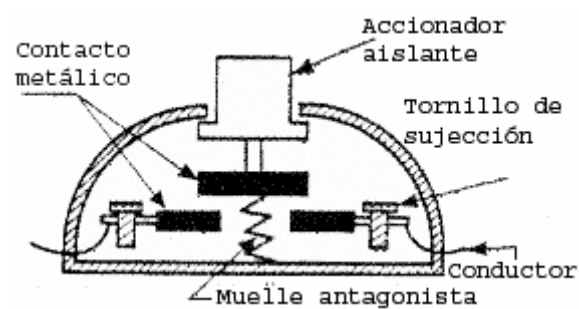


Fig. 3.8 Partes de un pulsador común

Un pulsador consta del botón pulsador, una lámina conductora que establece contacto con los dos terminales al oprimir el botón y un muelle que hace recobrar a la lámina su posición primitiva al cesar la presión sobre el botón pulsador.

Para la automatización de la planta de anodizado se creará una botonera o cuadro de botones en el que incorporaremos los siguientes pulsadores:

- 4 Pulsadores de desplazamiento del puente grúa: servirán para desplazar el puente grúa hacia atrás o hacia delante en la línea de tanques, y para subir y bajar la estructura que soporta los canastos o estructuras de soporte de las piezas a anodizar.
- 2 Pulsadores a modo de selector para la elección de modo de funcionamiento: mediante estos pulsadores podremos seleccionar entre los dos modos de operación del puente grúa, automático o manual.

3.4.3. Pulsadores de emergencia

Para evitar posibles accidentes e incidentes, se instalará un pulsador de emergencia que servirá para detener el funcionamiento de la línea de anodizado y del puente grúa en cualquier momento.

Normalmente, se instalan varios pulsadores de emergencia estratégicamente distribuidos, conectándolos todos en serie a una única entrada del PLC. De esta manera es sencillo instalar tantos pulsadores como se considere necesario, sin requerir grandes cambios en la instalación.

La principal diferencia entre este tipo de pulsador y los empleados anteriormente en el cuadro de mando, radica en que al pulsar este último, el pulsador queda accionado hasta que sea devuelto a su posición original de manera manual. Esto se puede hacer de dos maneras distintas en función del tipo de pulsador de emergencia que se trate, como se puede observar en las imágenes posteriores:

- Mediante giro del pulsador
- Mediante giro de llave



Fig. 3.9 Pulsadores de emergencia con llave y de giro

En este caso el modelo seleccionado es el XALK174 de TELEMECANIQUE. Este pulsador de emergencia tiene un funcionamiento normalmente cerrado y el desbloqueo se realiza mediante giro del pulsador.

3.4.4. Interruptor a cerradura

La utilidad de este interruptor con llave (ver figura 3.11) radica en que el responsable de mantenimiento “rearme” el autómatas en caso de que este se encuentre fuera de servicio, bien debido a que se ha activado un pulsador de emergencia o bien porque el autómatas haya registrado algún error o anomalía. En cualquier caso, el “rearme” provocará el traslado del puente grúa a la posición inicial en el puesto de carga/descarga.



Fig. 3.10 Interruptor de cerradura

Este tipo de interruptores permanecen en estado ON, mientras que el operario gira la llave. En el momento en que este deja de hacer fuerza, la llave vuelve a su posición inicial, volviendo a estado OFF.

El modelo elegido será el TELEMECANIQUE XB4BG61, su funcionamiento es del tipo NA, por lo que proporcionará un 1 lógico con la llave girada.

4. Anexo lógica cableada, conceptos

A continuación se describen los elementos, circuitos básicos y la filosofía comúnmente empleada en la lógica cableada. Los dibujos de los componentes presentados no siguen una normativa en particular correspondiendo al estilo europeo de dibujo de esquemas eléctricos (normas CEI internacional, DIN de Alemania, NF de Francia).



Fig. 4.1 Rack de lógica cableada con relés electromecánicos y relés temporizados electrónicos.

4.1. Estados ON y OFF

Desde un punto de vista teórico la lógica cableada opera de igual forma que la lógica tradicional, donde las variables solamente pueden tener dos estados posibles, “verdadero” o “falso”. En la lógica cableada, “verdadero” es igual a un relé energizado o en estado ON, correspondiendo en el caso de los contactos el estado “verdadero” a un contacto cerrado. En la lógica cableada, un “falso” es igual a un relé desenergizado o en OFF, mientras que para los contactos el estado “falso” implica el contacto abierto.





| Lógica | Circuito Digital | Lógica Cableada | Neumática / Óleo-Hidráulica |
|---------------------------------|-------------------------|--|--|
| FALSE <i>falso</i> | 0 <i>cero</i> | OFF <i>contacto abierto</i>  relé desenergizado |  <i>válvula cerrada</i> |
| TRUE <i>verdadero</i> | 1 <i>uno</i> | ON <i>contacto cerrado</i>  relé energizado |  <i>válvula abierta</i> |

Fig. 4.2 Variables lógicas empleadas en lógica cableada en comparación con la lógica, circuitos digitales, neumática y óleo-hidráulica.

En los circuitos electrónicos digitales, se utiliza el sistema numérico binario, donde “verdadero” corresponde a 1 y “falso” es igual a 0. Si se trata de un sistema neumático u óleo-hidráulico, “verdadero” es igual a una válvula ABIERTA y “falso” es igual a una válvula CERRADA. En el caso de tratarse del mando de la válvula, “verdadero” corresponde al mando accionado (pudiendo ser un solenoide, una palanca de accionamiento manual o un simple volante), y “falso” corresponde al estado no accionado del mando.

4.2. Relés

El relé o relevador (del francés *relais*, relevo) es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Fue inventado por Joseph Henry en 1835. Ya que el relé es capaz de controlar

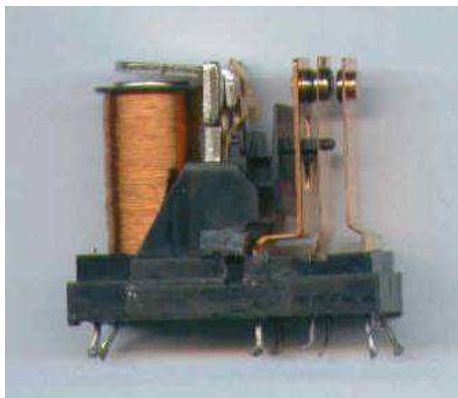


Fig. 4.3. Relé

un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, una forma de amplificador eléctrico. Como tal se emplearon en telegrafía, haciendo la función de repetidores que generaban una nueva señal con corriente procedente de pilas locales a partir de la señal débil recibida por la línea. Se les llamaba "relevadores". De ahí el nombre común de "relé".

Los contactos de un relé pueden ser Normalmente Abiertos (NA), Normalmente Cerrados (NC) o de conmutación.

- Los contactos Normalmente Abiertos conectan el circuito cuando el relé es activado, desconectando al mismo cuando el relé está inactivo. Este tipo de contactos son ideales para aplicaciones en las que se requiere conmutar fuentes de poder de alta intensidad para dispositivos remotos.
- Los contactos Normalmente Cerrados desconectan el circuito cuando el relé es activado, conectando al mismo cuando el relé está inactivo. Estos contactos se utilizan para aplicaciones en las que se requiere que el circuito permanezca cerrado hasta que el relé sea activado.
- Los contactos de conmutación controlan dos circuitos: un contacto Normalmente Abierto y uno Normalmente Cerrado con una terminal común.

En la siguiente imagen se representa, de forma esquemática, la disposición de los elementos que forman parte de un relé de un único contacto de trabajo.

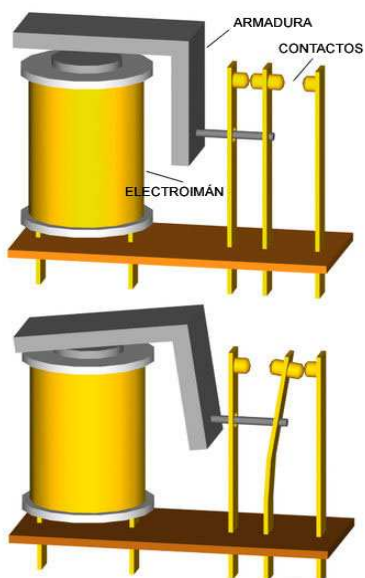


Fig. 4.4 Funcionamiento de un relé

Se denominan contactos de trabajo aquellos que se cierran cuando la bobina del relé es alimentada y contactos de reposo a los cerrados en ausencia de alimentación de la misma.

Existen multitud de tipos distintos de relés, dependiendo de la intensidad admisible por los mismos, tipo de corriente de accionamiento, tiempo de activación y desactivación, etc.

Un relé puede tener una gran cantidad de contactos como ocurre en el caso de los que se emplean en telefonía.

Distinto es el caso de un contactor, que se trataría de un relé con capacidad para manejar una potencia considerable y diseñado para conectar y desconectar tanto cargas en continua y en alterna.

4.2.1. Relé de corriente alterna

Cuando se excita la bobina de un relé con corriente alterna, el flujo magnético en el circuito magnético, también es alterno, produciendo una fuerza pulsante con frecuencia doble sobre los contactos. Es decir, los contactos de un relé conectado a la red en Europa oscilarán a 50 Hz, hecho que se aprovecha en algunos timbres y zumbadores.

4.2.2. Relé de láminas

Este tipo de relé se utilizaba para discriminar distintas frecuencias. Consiste en un electroimán excitado con la corriente alterna de entrada que atrae varias varillas sintonizadas para resonar a sendas frecuencias de interés. La varilla que resuena acciona su contacto mientras que las demás, no.

El desarrollo de la microelectrónica y los PLL integrados ha relegado estos componentes al olvido a pesar de que los relés de láminas ofrecieron buenas prestaciones en campos como el aeromodelismo y otros sistemas de telecontrol.

4.2.3. Relé de estado sólido

Se llama relé de estado sólido a un circuito híbrido, normalmente compuesto por un optoacoplador que aísla la entrada, un circuito de disparo que detecta el paso por cero de la corriente de línea y un triac o dispositivo similar que actúa de interruptor de potencia. Ofrecen una frecuencia de conmutación elevada, un fácil mantenimiento y un funcionamiento silencioso. Su nombre se debe a la similitud que presenta con un relé electromecánico.

Este dispositivo es usado generalmente para aplicaciones donde se presenta un uso continuo de los contactos del relé que en comparación con un relé convencional generaría un serio desgaste mecánico.

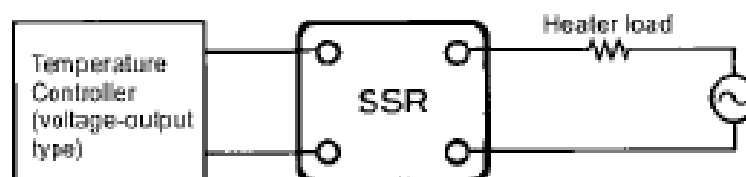


Fig. 4.5 Relé de estado sólido con carga resistiva y controlador de temperatura

4.3. Ventajas del uso de relés

- La gran ventaja de los relés es la completa separación eléctrica entre la corriente de accionamiento (la que circula por la bobina del electroimán) y los circuitos controlados por los contactos, lo que hace que se puedan manejar altos voltajes o elevadas potencias con pequeñas tensiones de control.
- Posibilidad de control de un dispositivo a distancia mediante el uso de pequeñas señales de control.
- Con una sola señal de control, se pueden controlar varios relés a la vez y por tanto distintos elementos.

En la lógica cableada, la mención de “relé” comprende diversos equipamientos eléctricos y electrónicos, de distinta tecnología y función. Todos estos equipos, aparatos o instrumentos, son considerados como “relés” en la medida en que cuenten con contactos eléctricos NA o NC de salida y realicen una función particular de Lógica Cableada.

Las entradas pueden ser bobinas, circuitos de medida de tensión, corriente, temperatura, nivel, accionamientos físicos y manuales, comandos remotos, por cable o por radiofrecuencia.

Así por ejemplo, como se muestra en la imagen 4.5, un relé puede actuar como un control de nivel o temperatura, un relé electromecánico, un contactor con contactos auxiliares, un relé de sub o sobre tensión, un relé de protección y decenas de otras funciones, que distintos fabricantes de equipamiento industrial catalogan únicamente como relés.

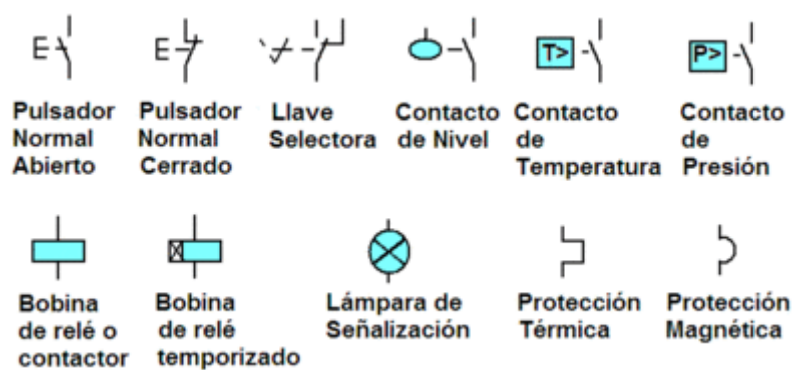


Fig. 4.6 Elementos o componentes básicos utilizados en lógica cableada.

4.4. Contactos NA y NC

Los contactos eléctricos de los relés pueden ser contactos normalmente abiertos NA, o normalmente cerrados NC. En los esquemas de conexión y de principio siempre se dibuja el contacto en su posición de reposo, con la bobina del relé desenergizada o en OFF. El contacto NC se dibuja cerrado y el contacto NA se dibuja abierto y los relés se dibujan sin energizar.



Fig. 4.7 Elementos básicos de la lógica cableada

4.5. Funciones lógicas

Las funciones lógicas empleadas en la lógica cableada son las mismas que en los circuitos digitales o compuertas lógicas, como se muestra en la siguiente imagen.

Encontramos así, la denominada comúnmente repetición de contacto, correspondiente a un “buffer” en un circuito digital, la inversión en un contacto normal cerrado, equivalente al NOT (negación) en circuito digital, el AND lógico (función “y”), logrado con contactos en serie o el OR lógico (función “o”), logrado con contactos en paralelo.

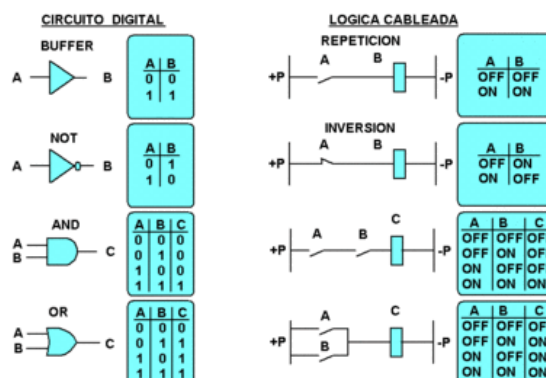


Fig. 4.8 Funciones lógicas y cuadros de estado

4.6. Relé automantenido

Un relé con auto-mantenimiento, es aquel en donde un contacto auxiliar mantiene el relé energizado, posteriormente a que el contacto de arranque cierra y abre. Un contacto de parada tipo NC, desenergiza el relé.

La función auto-mantenimiento de la lógica cableada guarda similitud con el Flip-Flop o biestable de la electrónica digital, como se puede observar a continuación.

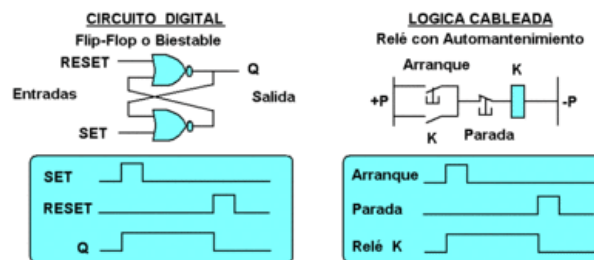


Fig. 4.9 Equivalencia dispositivo flip flop y relé automantenido

4.7. Funciones de temporización

Existen relés temporizados de varios tipos, pero las tres funciones básicas que estos ofrecen son las que se muestran a continuación:

- Temporización al cierre
- Temporización a la apertura
- Emisión de un pulso temporizado al cierre

En los dos últimos casos, el relé temporizado debe alimentarse desde una conexión independiente a la de la bobina. Los contactos temporizados se representan mediante un paraguas que se opone al movimiento.

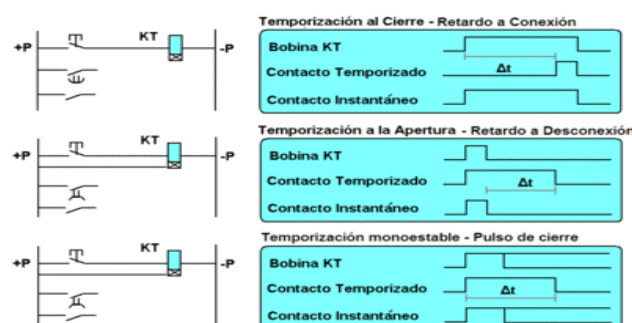


Fig. 4.10 Funciones de temporización

4.8. Mando Manual y Automático

En todo automatismo siempre es conveniente contar con la posibilidad de elegir entre un comando manual por pulsadores y un comando automático en base a sensores tales como: de nivel, presión, temperatura o cualquier otra variable. La selección se realiza por llaves selectoras manual/automático y por razones de seguridad para las personas y equipos, siempre se deja fuera de la selección el mando de parada por emergencia.



Fig. 4.11 Mando selector modo manual/automático

4.9. Comando secuencial

Como su nombre indica, un comando secuencial consiste en la ejecución de una secuencia de estados predeterminada y dependiente de ciertas entradas del sistema (pulsadores, detectores, etc.). Las secuencias pueden ser fijas, siendo producidas por un reloj electromecánico o por el contrario se pueden encontrar secuencias no fijas, las cuales son provocadas por cadenas de relés temporizados, donde al cumplirse el tiempo de retardo programado para un relé, se dispara el conteo de tiempo del relé temporizado correspondiente al siguiente estado.

Para proyectar y diseñar sistemas de lógica cableada complejos, se emplean diagramas de flujo, donde los distintos estados del diagrama luego se ven reflejados en relés automantenidos y las entradas se corresponden a pulsadores y detectores del circuito de mando.



5. Anexo GRAFCET

5.1. Historia

El Grafcet fue concebido, en principio, como un útil metodológico de descripción de la parte encargada del control de un sistema automatizado.

Resultó del trabajo emprendido en 1975 en AFCET (Association Francaise pour la cybernetique Economique et Technique) por un grupo de ingenieros y de investigadores. La ADEPA (Agencia Nacional de desarrollo de la producción automatizada) se ha acogido a su promoción confiriéndole una forma susceptible de llevar a cabo normas internacionales y nacionales. De hecho, el Grafcet fue normalizado por primera vez en Francia en 1982, pero fue en 1988 cuando se le reconoció internacionalmente por la norma 848 de la CEI (Comisión Internacional Electrotécnica), denominándose SFC (Sequential Function Chart).

Este útil de metodología de descripciones se ha convertido en un lenguaje de programación, tal como se ha recogido en la reciente norma CEI 1131.3 relativa a los lenguajes de programación para autómatas programables.

Se puede decir que el Grafcet, como útil de descripción funcional, ha sido unánimemente adoptado por las industrias de casi toda Europa occidental.

Por el contrario, curiosamente, su utilización como lenguaje de programación no ha tenido tanto éxito, debido a las siguientes razones:

- La normalización es aún reciente.
- Falta coordinación entre los editores de GRAFCET. Este problema debería atenuarse con la relocalización generalizada de las consolas de programación por PC en WINDOWS.
- La ausencia de normalización a nivel semántico que aún no es tan conocida por el usuario. Como resultado, pueden existir ambigüedades conduciendo a reacciones imprevisibles y potencialmente peligrosas del sistema en situaciones límites (paralelismo y sincronización). La mayoría de programas recurren, por tanto, a la traducción manual del GRAFCET en el lenguaje autómatas.



5.2. Introducción

El Grafcet, es un útil de descripción de la parte de control del sistema automatizado cuyo funcionamiento puede ser representado gráficamente por un conjunto de:

- Etapas a las que están asociadas las acciones.
- Transiciones asociadas a entradas, contadores, temporizadores, comparaciones, estados internos, etc.
- Enlaces orientados que relacionan las etapas con las transiciones y las transiciones con las etapas.

Se puede representar el funcionamiento de una parte de control como una sucesión alternada de etapas y transiciones. A cada etapa se le asociará las acciones a efectuar y a cada transición se le asignará la información que permite que puedan ser franqueadas.

Existe, por otro lado, un papel particular que corresponde a la etapa inicial. La elección de esta etapa está impuesta por las consideraciones funcionales ligadas a la parte operativa.

Es conviene precisar las elecciones tecnológicas de los actuadores y de los captadores, como por ejemplo, como se procedería ante una parada de emergencia, los modos de funcionamiento, las opciones de seguridad, la intervención de un operador, movimientos de los elementos, etc. Se representarán en el Grafcet las variables utilizadas así como su significado físico.

5.3. Elementos básicos de un GRAFCET

5.3.1. Etapas

Una etapa caracteriza el comportamiento invariante de una parte o de la totalidad del sistema representado, correspondiendo a una situación elemental que implica un comportamiento estable.

Una etapa del GRAFCET se representa mediante un cuadrado identificado por un número, de tal manera que la entrada se produce por la parte superior y la salida



por la parte inferior. No puede haber dos etapas con el mismo número pero tampoco es necesario que sean números consecutivos ni que respeten ningún orden.

Una etapa puede estar activa o inactiva. Cuando se representa el estado de un GRAFCET en un instante determinado, se pueden representar las etapas activas con un punto en su interior o sombreando su interior. Al representar el GRAFCET en un instante, se está representando el sistema en aquel instante, debiendo tener en cuenta que un GRAFCET puede tener varias etapas activas simultáneamente.

Un cuadrado con línea doble simboliza una etapa inicial del GRAFCET. Las etapas iniciales son las que se activan al inicializar el GRAFCET, actuando posteriormente a la inicialización como etapas normales.

Dado que una etapa implica un comportamiento estable, habitualmente las etapas tendrán acciones asociadas. Las acciones representan lo que hay que hacer mientras la etapa está activa. Las acciones asociadas a una etapa pueden ser de tipo externo o de tipo interno, siendo las primeras las que implican la emisión de órdenes hacia el sistema que se está controlando y las internas las que afectan a funciones propias del sistema de control (incremento de un contador, etc.).

En algunos casos interesa utilizar etapas sin ninguna acción. Las aplicaciones más corrientes son aquellas en que el sistema está esperando que se produzca una determinada circunstancia.

Las acciones a efectuar mientras una etapa esté activa son descritas de forma literal o simbólica en el interior de uno o de varios rectángulos de dimensiones cualesquiera enlazados a la derecha de la etapa.

La ejecución de dichas acciones puede estar sometida a otras condiciones lógicas, función de variables de entrada, de variables auxiliares o del estado activo o inactivo de otras etapas.

A nivel de especificaciones tecnológicas, se deberá precisar la forma en la cual las acciones serán realizadas teniendo en cuenta el material definido por los captadores y los actuadores. Para ello, se utilizará el lenguaje de programación específico proporcionado por el fabricante.

5.3.2. Transiciones

Las transiciones indican las posibilidades de evolución entre etapas. Se asocia a cada transición una condición lógica llamada receptividad que permite distinguir, de entre toda la información disponible, únicamente aquella que es susceptible, en un instante determinado, a hacer evolucionar la parte de control.

La representación de las transiciones consiste en un trazo perpendicular a la línea que une dos etapas consecutivas. Validar la transición implica un cambio en las etapas activas del GRAFCET, pudiendo tener cada etapa varias entradas y varias salidas.

La receptividad, escrita en forma de proposición lógica, es una función combinatoria de información (directivas del operador, estados de captadores, de contadores, de temporizadores, etc.). La forma en la que se expresa la receptividad es muy variada.

Los caminos que unen una etapa con otra se dibujan preferentemente en sentido vertical, aunque para resolver algunas representaciones hay que dibujar una parte de los mismos en sentido horizontal o en diagonal. Mientras no se especifique lo contrario, la evolución de un camino siempre es en sentido descendente, es decir, de arriba a abajo.

Existe la posibilidad de que un GRAFCET se complique o no quepa en una sola página, siendo en estos casos necesarios los reenvíos. Mediante esta técnica se evita trazar todo el recorrido de conexión entre dos etapas, indicando únicamente el estado al que se envía y, en el estado de destino, señalando la etapa de la que proviene.

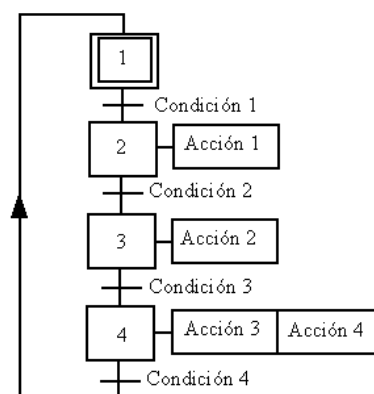


Fig. 5.1 Ejemplo GRAFCET con etapas, transiciones y reenvío

5.3.3. Reglas de evolución

Se puede establecer, por tanto, una serie de normas sobre el progreso que va siguiendo un proceso GRAFCET:

- Todo GRAFCET comienza en la etapa que se ha programado como inicial.
- Toda transición que se verifica como válida provoca la evolución de su etapa anterior hacia la etapa posterior.



- En caso de una divergencia en “O” el GRAFCET evolucionará por la rama correspondiente a la transición verificada. Permite realizar un direccionamiento en 11 etapas como máximo.
- Una convergencia en “O” evoluciona hacia una etapa única desde cualquiera de las ramas por las que hubiera discurrido el GRAFCET. Permite realizar un fin de direccionamiento procedente de 11 etapas como máximo.
- En una divergencia en “Y”, una vez verificada la transición se activarán todas las etapas con las que comienza cada rama. Permite la activación simultánea de 11 etapas como máximo.
- En una convergencia en “Y” habrá una transición hacia una etapa única cuando, estando activas la etapa final de cada rama, se cumple la transición. Permite la desactivación simultánea de 11 etapas como máximo.



6. Anexo mejora con SCADA

6.1. Proceso compuesto de producción

Todo proceso industrial requiere de una renovación constante, buscando siempre la máxima rentabilidad con el menor desembolso posible, además de cumplir con otra serie de factores como pueden ser la seguridad, la calidad del producto, etc. El caso de un proceso de anodizado no es distinto.

En este proyecto se ha tratado un proceso de anodizado simple, donde todas las tareas que solicitaba el operario, eran programadas para una única carga. Es decir, que solo se podía trabajar con un único producto en cada petición del operario, ya que el puente grúa lo llevaba en carga de una cuba a otra hasta terminar con el plan de trabajo solicitado.

Existe la posibilidad de transformar este sistema en un proceso de anodizado complejo. De esta manera, se podría trabajar con varios productos simultáneamente, aprovechando las diversas cubas de las que se dispone y optimizando en gran medida los tiempos de producción.

Para abordar un sistema de este tipo es indispensable contar con un sistema de control y gestión, ya que es necesario por parte del sistema saber que cubas están libres y cuales ocupadas, que tiempo lleva cada carga introducida en su cuba correspondiente, en qué momento se puede introducir una nueva carga, etc.

Lógicamente, tiene que ser el sistema el que analice los planes de trabajo, compare las tareas programadas para cada carga y genere una secuencia de trabajo en la que se incluyan varios procesos simultáneos perfectamente coordinados, para evitar así la posibilidad de necesitar la misma cuba por parte de dos o más cargas y además poder atender inmediatamente la extracción de una carga que está en una cuba de proceso crítico.

Una posible solución que se plantea para poder trabajar con un proceso de anodizado complejo, sería combinar la potencia del controlador lógico programable ya empleado, con un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) trabajando en un PC, que aporte el control y la supervisión necesaria. Es por ello que a continuación, sin entrar en detalles de instalación y simplemente como solución teórica, se adjunta una breve descripción de los sistemas SCADA.



6.2. Sistemas SCADA

SCADA, como se vio anteriormente, viene de las siglas de "Supervisory Control And Data Acquisition", es decir, adquisición de datos y control de supervisión. Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

En este tipo de sistemas usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos desde su posición.

Los programas necesarios, y en su caso el hardware adicional que se necesite, se denomina en general sistema SCADA.

6.2.1. Prestaciones

Un paquete SCADA debe estar en disposición de ofrecer las siguientes prestaciones:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de históricos de señal de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómata, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.

Con ellas, se pueden desarrollar aplicaciones para ordenadores (tipo PC, por ejemplo), con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco e impresora, etc.



Además, todas estas acciones se llevan a cabo mediante un paquete de funciones que incluye zonas de programación en un lenguaje de uso general (como C, Pascal, o Basic), lo cual confiere una potencia muy elevada y una gran versatilidad. Algunos SCADA ofrecen librerías de funciones para lenguajes de uso general que permiten personalizar de manera muy amplia la aplicación que desee realizarse con dicho SCADA.

6.2.2. Requisitos

Un SCADA debe cumplir una serie de objetivos que faciliten la posibilidad de que su instalación sea perfectamente aprovechada:

- Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario.

6.2.3. Módulos de un SCADA

Para permitir las actividades de adquisición, supervisión y control, un sistema SCADA cuenta con un conjunto de módulos o bloques software y que se pueden resumir en los siguientes:

- Configuración: permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.
- Interfaz gráfico del operador: proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador de proceso y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación durante la configuración del paquete.
- Módulo de proceso: ejecuta las acciones de mando pre-programadas a partir de los valores actuales de variables leídas.



- Gestión y archivo de datos: se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- Comunicaciones: se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y entre ésta y el resto de elementos informáticos de gestión.

6.3. Conceptos asociados a sistemas SCADA

En casa y en la oficina, el ordenador personal continúa con su progreso. El PC se ha establecido en un gran número de campos con unos componentes hardware y software que están siendo cada vez más potentes y más rentables. Es lógico, por tanto, que la industria quiera tomar provecho de este hecho, para reducir costes y/o incrementar la productividad.

Ciertas tareas industriales están en manos de los ordenadores desde hace ya algún tiempo: desde emplear la tecnología Windows cuando se manejan pedidos y/o se ajustan parámetros de maquinaria, hasta preparar o visualizar datos prácticamente de cualquier tipo.

No hay que sorprenderse entonces, que los especialistas en automatización y los usuarios estén pensando ahora en qué forma se pueden transferir al PC otras tareas, para poder llegar a un mayor ahorro. Más recientemente, un gran número de simuladores de PLC (controladores lógicos programables) por software ha aparecido en el mercado, ayudando a transferir el control de tareas al disco duro y presentando una automatización más efectiva en costes en una simple pieza de hardware, el PC.

6.3.1. Tiempo real

La capacidad en tiempo real se refiere a la soltura del ordenador en programas de procesamiento de datos para que este, siempre esté listo para procesar y proporcionar los resultados dentro de un tiempo especificado.

En este contexto, "estrictamente en tiempo real" significa que un sistema reacciona a los eventos externos dentro de un tiempo especificado en un 100% de los casos. Además, si se habla de "tiempo real" el sistema debe responder en tiempos concretos también en un 100% de los casos. Si, de otra forma, los tiempos concretos de reacción pueden superarse en ciertos casos, como en sistemas no críticos, hablamos de "tiempo real suave".



6.3.2. Hardware en sistemas de supervisión: PLC y PC.

El hecho, es que las tareas automatizadas de control, visualización y computación pueden ser efectuadas por PLCs (conectados en red mediante los módulos adecuados) mejor que con sistemas exclusivos de control basados en PC. Lo que finalmente es práctico, no obstante, depende de un gran número de factores y la mayoría deben ser considerados individualmente para cada proyecto de automatización.

Así, por ejemplo, los actuales conocimientos y preferencias del usuario pueden jugar un mayor papel que la pura potencia del ordenador. Los factores cruciales, no obstante, son los atributos de capacidad en tiempo real y las propiedades de seguridad que hasta ahora han sido fuertemente asociadas con el PLC, aunque el PC también puede disponer de la característica de capacidad en tiempo real. Un sistema de control es inconcebible sin capacidad de trabajo en tiempo real. Es común en sistemas de control por ordenador tener que elegir, según las características del sistema a supervisar, entre el PLC o el PC. Se debe elegir aquel hardware que mejor se adapte a las necesidades del sistema a supervisar.

Los controladores lógicos programables, en la mayoría de los casos, están diseñados específicamente para ser empleados en ambientes industriales exigentes y han sido continuamente desarrollados de forma que sus sistemas operativos en tiempo real representan su mayor virtud. Ellos son y seguirán siendo, no obstante, la primera elección para todo control de tareas críticas o extremas por su rendimiento y simpleza, en los que un PC podría estar simplemente "sobrecargado" debido al trabajo que le pueden suponer otras tareas de ámbito común, como la gestión y visualización de datos, accesos a periféricos, bases de datos, etc.

Si, además del control de tareas, se necesita un procesamiento de datos, trabajo en red o visualización (una aplicación SCADA), un sistema basado en PC debe ser tomado en consideración.



7. Anexo hojas de características

A los documentos adjuntados a continuación, se añaden los archivos “Manual puesta en marcha procesadores TSX 57 Telemecanique” y “Manual instalación autómatas Premium Telemecanique” incluidos en el CD anexo a este proyecto.



8. Anexo software



9. Anexo planos



10. Bibliografía y recursos de información

Bibliografía

- **“Autómatas programables industriales”**
G. Michell
Editorial Marcombo
- **“Autómatas programables”**
A. Porras-A. P. Montanero
Editorial McGrawHill
- **“Fundamentos de sistemas digitales”**
Thomas L. Floyd
Prentice Hall
- **“Electrónica digital”**
L. Cuesta – A. Gil Padilla –F. Remiro
Editorial Schaum
- **“Ingeniería de control moderna”**
Katsuhiko Ogata
Prentice Hall
- **Microelectrónica**
Jacob Millman & Harbin Grabel
Hispano-Europea



Recursos web

- Schneider Electric: www.schneiderelectric.es
- Telemecanique España: www.es.telemecanique.com
- Anodizing Asociation: www.anodizing.org
- Metal Improvement: www.metalimprovement.com
- Google Imágenes: www.images.google.es
- Autómatas: www.autómatas.org
- Conceptos electrónica: www.edison.upc.edu
- Wikipedia: www.wikipedia.com
- Worldclean: www.worldclean.com.tw